



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PROCESSOS
MESTRADO PROFISSIONAL

**PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS OU CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL:
UM ESTUDO DE CASO PARA O GERENCIAMENTO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO MARANHÃO**

Guilherme Cruz Destro

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos – Mestrado Profissional, PPGEP/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos.

Orientador: Nielson Fernando da Paixão Ribeiro

Belém

Setembro de 2018

**PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS OU CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL:
UM ESTUDO DE CASO PARA O GERENCIAMENTO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO MARANHÃO**

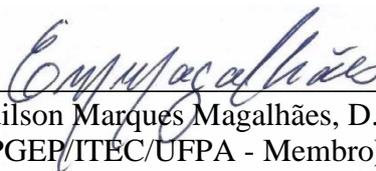
Guilherme Cruz Destro

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA PROCESSOS – MESTRADO PROFISSIONAL (PPGEP/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA DE PROCESSOS.

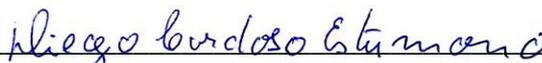
Examinada por:



Prof. Nielson Fernando da Paixão Ribeiro, Dr.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Orientador)



Prof. Edilson Marques Magalhães, D. Eng.
(PPGEP/ITEC/UFPA - Membro)



Prof. Diego Cardoso Estumano, D. Sc.
(FBIOTEC/ICB/UFPA – Membro)

BELÉM, PA - BRASIL

SETEMBRO DE 2018

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFPA

Destro, Guilherme Cruz, 1982-
Painéis solares fotovoltaicos ou células de combustível:
um estudo de caso para o gerenciamento de energia elétrica
no hospital universitário da Universidade Federal do
Maranhão/ Guilherme Cruz Destro. - 2018.

Orientador: Nielson Fernando da Paixão Ribeiro

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará.
Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Processos, 2018.

1. Energia Solar 2. Geração de Energia fotovoltaica -
Aspectos econômicos 3. Energia - Fontes alternativas I.
Título

CDD 23. ed. - 333.7923

*Dedico este trabalho a minha esposa
querida Mariana, a minha filha Marcela,
aos meus pais, Mário e Lisete pelo amor
incondicional e por sempre acreditarem
em mim.*

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar, Deus, pelas oportunidades que Ele me proporcionou este ano e uma delas foi esse Mestrado.

Agradeço a minha esposa amada, querida, Mariana, que me encorajou com palavras de apoio e força durante a realização desse trabalho, ela foi uma das pessoas que me ajudaram nesse Mestrado Profissional.

Agradeço aos meus pais, Mário Destro e Lisete Maria, que mesmo à distância, deram apoio e motivação para a realização dessa qualificação profissional e sempre dando uma palavra que tornava a luta ficar mais leve, enfrentar com dignidade que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até aqui. Obrigado por sempre me incentivarem a estudar e por me mostrarem que a humildade e a simplicidade devem ser sempre a base de todo conhecimento.

Agradeço ao meu cunhado, Professor Dr Igor Bergamo Anjos Gomes, pelas palavras de apoio e incentivo no prosseguimento da vida acadêmica, pelas colaborações durante a elaboração desse trabalho e encorajamento para investir em mais uma titulação acadêmica.

E por fim, agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Nielson Fernando da Paixão Ribeiro, que esteve mostrando os caminhos a seguir durante a execução desse trabalho, e sem ele, essa pesquisa, certamente, não teria sido finalizada.

“Tente uma, duas, três vezes e se possível tente a quarta, a quinta e quantas vezes for necessário. Só não desista nas primeiras tentativas, a persistência é amiga da conquista. Se você quer chegar aonde a maioria não chega, faça o que a maioria não faz...”

(Bill Gates)

Resumo da Dissertação apresentada ao PPGEP/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Processos (M. Eng.)

**PAINÉIS SOLARES FOTOVOLTAICOS OU CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL:
UM ESTUDO DE CASO PARA O GERENCIAMENTO DE ENERGIA
ELÉTRICA NO HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO MARANHÃO**

Guilherme Cruz Destro

Setembro/2018

Orientador: Nielson Fernando da Paixão Ribeiro

Área de Concentração: Engenharia de Processos

O presente trabalho analisa a viabilidade de uso da energia solar ou Células a combustível no Hospital Universitário do Maranhão (HUUFMA) em São Luís Maranhão como parte dos mecanismos estratégicos para o uso de energia. O trabalho de coleta de dados foi realizado a partir de visitas *in loco* e consulta de informações junto ao responsável pelo setor de Engenharia Elétrica do prédio público administrado pela EBSEH (Empresa Brasileira de Serviços Hospitalares). O percurso investigativo objetivou aferir o possível resultado quantitativo da energia gerada por ambos os processos, considerando o custo-benefício de suas implementações. A conclusão do trabalho indicou que a ampliação do sistema fotovoltaico e o uso das Células de Combustível tipo SOFC nas instalações do Hospital são duas opções viáveis para o empreendimento, considerando não apenas os custos de investimento de implementação e manutenção, mas também o resultado da economia gerada pelo uso desta fonte alternativa.

Abstract of Dissertation presented to PPGE/UFPA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Process Engineering (M. Eng.)

**PHOTOVOLTAIC SOLAR PANELS OR FUEL CELLS? A CASE STUDY FOR
THE MANAGEMENT OF ELECTRICAL ENERGY IN THE UNIVERSITY
HOSPITAL OF THE FEDERAL UNIVERSITY OF MARANHÃO**

Guilherme Cruz Destro

September/2018

Advisor: Nielson Fernando da Paixão Ribeiro

Research Area: Process Engineering

The present work analyzes the feasibility of using solar energy or fuel cells at the University Hospital of Maranhão (HUUFMA) in São Luís Maranhão as part of the strategic mechanisms for the use of energy. The data collection work was carried out from on-site visits and consultation of information with the responsible for the Electrical Engineering sector of the public building administered by EBSEH (Brazilian Company of Hospital Services). The investigative course aimed to assess the possible quantitative result of the energy generated by both processes, considering the cost-benefit of their implementations. The conclusion of the study indicated that the expansion of the photovoltaic system and the use of the SOFC Fuel Cells in the Hospital facilities are two viable options for the project, considering not only the investment costs of implementation and maintenance, but also the result of the economy generated by the use of this alternative source.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
1.1 - MOTIVAÇÃO.....	2
1.2 – OBJETIVOS	3
1.2.1 - Objetivo geral	3
1.2.2 - Objetivos específicos.....	3
1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO	3
CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1 – ENERGIA.....	5
2.1.1 - Energia não renováveis	5
2.1.2 - Energia renováveis	6
2.1.3 – Energia hidrelétrica.....	7
2.1.4 - Energia eólica.....	9
2.1.5 - Energia solar	12
2.1.6 - Energia solar térmica	13
2.1.7 - Energia solar fotovoltaica	14
2.1.7.1 - Célula de silício monocristalino (Mono-Si)	15
2.1.7.2 - Célula de silício policristalino (multi-Si)	16
2.1.7.3 - Célula fotovoltaica de filme fino	16
2.1.7.4 - Célula fotovoltaica de heterojunção (HJT).....	17
2.1.8 - Funcionamento de uma célula fotovoltaica.....	17
2.1.8.1 - Funcionamento energia solar.....	20
2.1.9 - Células a combustível.....	22
2.1.9.1 - Tipos de células de combustível.....	26
2.1.9.2 – Aplicações.....	29
2.1.9.3 - Células de combustível no Brasil	29
2.1.10 - Edificações similares	33
2.1.11 - Hospital BOS e Hospital Ana Nery.....	39
CAPÍTULO 3 - ESTUDO DE CASO: CENÁRIO ATUAL DO HUUFMA.....	40
3.1 - ESTUDO DE CASO FOTOVOLTAICO	41
3.2 - CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL E GERAÇÃO PRÓPRIA HUUFMA	45
CAPÍTULO 4 - ESTUDO DE VIABILIDADE.....	47

4.1 - ESTUDO DE VIABILIDADE DE UMA FONTE COGERADORA PARA O HUUFMA	47
4.1.1 - Estudo da viabilidade econômica para ampliação de energia Fotovoltaica no HUUFMA	47
4.1.2 - Estudo da viabilidade econômica para implantação do uso de células de combustíveis no HUUFMA	49
4.2 - ECONOMIA DE ENERGIA.....	50
CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E SUGESTÕES	52
5.1 – CONCLUSÕES	52
5.2 – SUGESTÕES.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1	Visão aérea da Usina de Itaipu	8
Figura 2.2	Princípio de Funcionamento de uma Usina Hidrelétrica.....	8
Figura 2.3	Funcionamento Energia Eólica.....	10
Figura 2.4	Usos da Energia Solar em Diferentes Setores	13
Figura 2.5	Princípio de funcionamento da energia solar térmica	13
Figura 2.6	Átomo de fósforo (P) sendo inserido na estrutura cristalina do silício (Si)	18
Figura 2.7	Elétrons circulando livremente por átomos de fósforo (P) silício (Si) sendo aplicada uma diferença de potencial entre os terminais	18
Figura 2.8	Átomo de Índio (In) sendo inserido na estrutura cristalina do silício (Si)	19
Figura 2.9	Movimentação de átomos de valência.....	20
Figura 2.10	Funcionamento da Energia Solar.....	21
Figura 2.11	Princípio de funcionamento duma célula de combustível.....	24
Figura 2.12	Composição de uma célula a combustível ideal.....	28
Figura 2.13	Protótipo da Nissan com autonomia de 600 km	31
Figura 2.14	Alunos da UFRJ criaram o ônibus híbrido	32
Figura 2.15	Edificação Brasil Center em Pinheiro	34
Figura 2.16	Mercadinho Maythá e seu telhado com painéis fotovoltaicos para geração de eletricidade	34
Figura 2.17	Usina de Energia Solar em Pirapora.....	35
Figura 2.18	Primeira usina solar do Brasil localizada no Ceará	36
Figura 2.19	Estádio do Mineirão e seus painéis fotovoltaicos.....	36
Figura 2.20	Estádio Fonte Nova em Salvador	37
Figura 2.21	Estádio Pituvaçu em Salvador	38
Figura 2.22	Usina solar em Pernambuco	38
Figura 3.1	Gráfico com os doze últimos consumos de energia do HUUFMA.....	42
Figura 3.2	Oitenta painéis instalados no Bloco G no HUUFMA	45

Figura 3.3	Destaque em amarelo o Bloco G com os painéis FV instalados e área disponível para possível expansão	45
Figura 3.4	Áreas sugeridas para instalação de Células de Combustível	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1	Hidroelétricas instaladas no país e sua capacidade instalada	9
Tabela 2.2	Parques eólicos instalados no país e sua capacidade instalada.....	10
Tabela 2.3	Diferentes tipos de células com suas vantagens e desvantagens ...	27
Tabela 3.1	Dados do consumo de energia do HUUFMA.....	41

NOMENCLATURA

A	AMPÉRE
ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
ANEEL	AGÊNCIA NACIONAL ENGENHARIA ELÉTRICA
CA	CORRENTE ALTERNADA
CC	CORRENTE CONTÍNUA
CEMAR	COMPANHIA ENERGÉTICA DO MARANHÃO
CEPEL	CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA
CHESF	COMPANHIA HIDRO ELÉTRICA DO SÃO FRANCISCO
CO ₂	GÁS CARBÔNICO
COFINS	CONTRIBUIÇÃO PARA O FINANCIAMENTO DA SEGURIDADE SOCIAL
°C	GRAUS CELSIUS
EBSERH	EMPRESA BRASILEIRA DE SERVIÇOS HOSPITALARES
EMTU	EMPRESA METROPOLITANA DE TRANSPORTES URBANOS DE SÃO PAULO
EUA	ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA
EVEF	ESTUDO DE VIABILIDADE
FINEP	FINANCIADORA DE ESTUDOS E PROJETOS
FV	FOTOVOLTAICO
°F	GRAUS FAHRENHEIT
H ₂	GÁS HIDROGÊNIO
HUUFMA	HOSPITAL UNIVERSITÁRIO DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
HZ	HERTZ
ICMS	IMPOSTO SOBRE CIRCULAÇÃO DE MERCADORIAS E SERVIÇOS
IDH	ÍNDICE DE DESENVOLVIMENTO HUMANO
IEC	INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
IP	GRAU DE PROTEÇÃO
IPHE	INTERNATIONAL PARTNERSHIP FOR HYDROGEN AND FUEL CELLS IN THE ECONOMY

ISO	INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION
KG	QUILO(S)
KJ	QUILOJOULE(S)
KWH	QUILOWATT HORA
KWP	QUILO WATT PICO
M	METRO(S)
M ²	METROS QUADRADOS
M ³	METROS CÚBICOS
MW	MEGAWATT
NBR	NORMA BRASILEIRA
O ₂	GÁS OXIGÊNIO
PIS	PROGRAMA INTEGRAÇÃO SOCIAL
PNUD	PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO
PROCAC	PROGRAMA BRASILEIRO DE SISTEMAS DE CÉLULAS A COMBUSTÍVEL
SFCR	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE
SIN	SISTEMA FOTOVOLTAICO CONECTADO À REDE
SUS	SISTEMA ÚNICO DE SAÚDE
TI	TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO
TIPI	TABELA DE INCIDÊNCIA DO IMPOSTO SOBRE PRODUTO INDUSTRIALIZADO
TIR	TAXA INTERNA DE RETORNO
UNICAMP	UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
USP	UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
UTI	UNIDADE DE TRATAMENTO INTENSIVO
V	VOLT
WP	WATT PICO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A energia é um insumo fundamental nas construções sejam estas para fins de moradia, prestação de serviços, produção ou comercial. Neste horizonte, planejamento energético figura como uma ferramenta imprescindível para o desenvolvimento econômico e social de modo ambientalmente sustentável. O planejamento permite integrar soluções adequadas de geração energética em termos tecnológicos, econômicos e ambientais pelo lado da oferta e identificar tecnologias mais eficientes no uso final da energia, promovendo um maior serviço energético aliado à conservação de energia pelo lado da demanda (SILVA e BERMANN, 1999).

O Brasil é um país pioneiro no tocante ao uso de fontes energéticas alternativas, e possui uma das matrizes de geração de energia mais diversificadas do mundo. Este arranjo o torna como um caso único, quando comparado com outros países de porte econômico e renda média equivalente às suas, e permite prever que esta opção de planejamento energético, iniciada na década de 50, trará vantagens comparativas que poderão vir a beneficiá-lo no longo prazo (CAPRIGLIONE, 2006). Historicamente, a participação das fontes renováveis na matriz energética da grande maioria dos países é muito pequena, situando-se na média em torno de 5%. Ao contrário, no Brasil, a participação das fontes renováveis sempre foi muito alta 65,8% (BRASIL, 2017a) o que torna possível planejar e executar diferentes projetos energéticos de modo a utilizar de forma racional, sustentável e econômica os recursos disponíveis para cada localidade.

Neste contexto para geração de energia em larga escala, o Brasil possui três tecnologias bem estabelecidas e que contribuem de forma significativa e são: as hidroelétricas principal matriz energética renovável, eólica com diversas fazendas implantadas no nordeste e sul e energia solar na forma de painéis fotovoltaicos ou receptores de calor para geração de energia ou aquecimento de água em pequena escala e que o conjunto dessas três tecnologias já correspondem a 74 % (BRASIL, 2017a) da matriz energética brasileira.

Aliado a toda geração já implementada, o Brasil possui grande potencial para geração de energia via biomassa devido sua extensão territorial com terras férteis, vocação para agroindústria e infraestrutura bem entaltecida neste setor. Este conjunto de três fatores permite o desenvolvimento de culturas específicas e voltada para geração de

bioenergia, tais como: cana-de-açúcar, pinhão manso, palma, etc. Além disto, dispõe de uma série de resíduos e rejeitos que podem ser utilizados como matéria-prima das mais diferentes formas como, por exemplo: geração de biogás, bio-óleo, gás de síntese via pirólise e gaseificação de biomassa.

Por outro lado, a geração descentralizada ou co-geração é especialmente importante em áreas urbanas consolidadas, uma vez que nos países desenvolvidos, e também em alguns países em vias de desenvolvimento, a construção de um novo edifício representa uma pequena parte do total de edifícios já existentes. Devido ao sistema energético brasileiro existe a grande influência das condições climáticas sobre as tarifações que influenciam grandemente a conta final impactando severamente os orçamentos principalmente de residências, pequenas e médias empresas e repartições públicas que possuem previsão de gastos limitados.

Deste modo, é de suma importância a realização de estudos acadêmicos bem como o debate proposto acerca de alternativas para geração e diminuição do consumo focando as várias tecnologias existentes, sua dimensão técnico-operativa, custos e preços que possa ser implementada de forma econômica e ecologicamente amigável.

1.1 - MOTIVAÇÃO

A esfera federal possui gastos elevados com energia, já que é responsável pelo pagamento das contas de luz de todos os prédios do setor público federal. A União viu os gastos com energia elétrica chegarem ao recorde de R\$ 2,1 bilhões em 2015. Dentro, deste orçamento está enquadrado o consumo das Universidade Públicas Federais bem como de seus respectivos hospitais universitários, que ano após ano, tem seus orçamentos reduzidos seja por recessão econômica ou por objetivos políticos diferentes de seus gestores, desta forma exercer uma boa administração dos recursos disponíveis é de suma importância para assegurar o funcionamento destas instituições.

O consumo de energia em hospitais costuma ser muito alto, devido à necessidade de manter muitos aparelhos ligados, luzes acesas, higienizar roupas e materiais, além do consumo pelos próprios pacientes e visitantes. Entretanto, mesmo com o hospital dependendo totalmente da água e da energia para funcionar, é possível reduzir os gastos zelando pela segurança e qualidade. Essa redução, deve ser aplicada em um espectro global pela criação e implementação de práticas de bons usos dos equipamentos, substituição de aparelhos obsoletos, manutenção dos aparelhos existentes

e implementação de novas tecnologias.

Neste sentido a avaliar a implementação de uma fonte cogeneradora de energia no HUUFMA (Hospital Universitário da UFMA) é uma das medidas necessárias e vem trazer uma alternativa para redução do grande impacto no orçamento causados pelos custos devido o pagamento de energia.

1.2 - OBJETIVOS

1.2.1 - Objetivo geral

O presente trabalho tem por objetivo avaliar a implementação de uma fonte cogeneradora de energia elétrica no Hospital Universitário da Universidade Federal do Maranhão avaliando os impactos sobre o orçamento universitário e as perspectivas futuras.

1.2.2 - Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo central do trabalho os seguintes objetivos específicos foram traçados:

- Verificar os custos mensais de energia do HUUFMA nos últimos meses;
- Avaliar das tecnologias disponíveis no mercado para implementação no que diz respeito confiabilidade, manutenção e desenvolvimento tecnológico;
- Avaliar os custos de implementação e manutenção de cada tecnologia escolhida;
- Avaliar o impacto econômico da fonte cogeneradora no orçamento geral;
- Desenvolver um conjunto medidas e ações educativas para redução de custos energéticos.

1.3 - ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O capítulo 1 apresenta a motivação, os objetivos, as contribuições da dissertação e a forma de organização do trabalho.

O capítulo 2 apresenta uma revisão da literatura como estado da arte mostrando o cenário energético elétrico brasileira, exemplificando as principais tecnologias de geração para produção de energia em larga escala e descentralizadas.

O capítulo 3 apresenta um panorama geral do hospital Universitário da Universidade Federal do Maranhão, descrevendo e analisando seu consumo de energia e seus principais pontos vulneráveis passíveis de melhorias. Já no capítulo 4 é mostrado as estimativas econômicas e análise das tecnologias alternativas para minimização dos custos energético do HUUFMA, assim como um plano de diretrizes com medidas de boas práticas de trabalho visando melhorias para minimização dos custos e o impacto econômico no orçamento causado pela fonte cogeneradora.

O capítulo 5 apresenta as conclusões acerca do trabalho desenvolvido.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1 – ENERGIA

O termo Energia se refere ao potencial inerente de um sistema para realizar uma ação ou executar um trabalho e constitui-se em um fator fundamental para a satisfação de grande parte das necessidades do homem. Dessa forma, muitos conhecimentos e ganhos tecnológicos assimilados pelas diferentes sociedades centraram-se na busca da apropriação e controle da conversibilidade da energia, ou seja, do processo de obtenção da energia na conformação que melhor se ajuste às suas demandas (SILVA, 2006).

Considerando as fontes de energia atualmente consumidas pela sociedade contemporânea estas podem ser classificadas em dois tipos: fontes primárias, originadas de processos fundamentais da natureza, como a energia proveniente da irradiação solar, a energia nuclear, proveniente dos núcleos dos átomos ou a energia gravitacional; e as fontes secundárias, derivadas das primeiras, representando apenas transformações e/ou diferentes formas daquelas, tais como a energia da biomassa, cuja origem é a energia solar, das marés, cuja origem primeira é gravitacional devida ao movimento entre terra e lua e a energia geotérmica, cuja origem vem das altas temperaturas existentes no interior da Terra (SILVA e BERMANN, 2002).

Outra forma de classificar as fontes energéticas é com relação à categoria dos recursos naturais que as originam. Desta forma, as fontes podem ser classificadas em renováveis (eólica, solar, geotérmica, hidráulica e biomassa) e as não-renováveis (petróleo, carvão mineral e atômica) (FRANCISCO, 2018).

2.1.1 - Energia Não Renováveis

As fontes de energia não renováveis são aquelas que estão presentes na natureza em quantidades limitadas se extinguem com a sua utilização. Assim, uma vez esgotadas, as reservas não podem ser regeneradas. Consideram-se fontes de energia não renováveis os combustíveis fósseis (carvão, petróleo bruto e gás natural) e o urânio, que é a matéria-prima necessária para obter a energia resultante dos processos de fissão ou fusão nuclear. Todas estas fontes de energia têm reservas finitas, uma vez que é

necessário muito tempo para as repor, e a sua distribuição geográfica não é homogênea (AGENEAL, 2018).

Geralmente, as fontes de energia não renováveis são denominadas fontes de energia convencionais, uma vez que o sistema energético atual é baseado na utilização dos combustíveis fósseis. Este tem sua principal vantagem na infraestrutura pré-estabelecida bem como no sólido desenvolvimento tecnológico existente. Contudo, são também consideradas “energias sujas”, já que sua utilização é causa direta de significativos danos para o meio ambiente e para a sociedade com potencial para destruição de ecossistemas, danos em bosques e aquíferos, doenças, redução da produtividade agrícola, corrosão de edificações, monumentos e infraestruturas, deterioração da camada de ozônio ou chuva ácida. Cabe destacar igualmente os não menos agressivos desdobramentos da utilização desta modalidade energética que podem ser definidos como os efeitos indiretos, dentre os quais é possível destacar os acidentes em sondagens petrolíferas bem como nas minas de carvão, ou a contaminação por derramamentos químicos ou de combustível (SUA PESQUISA.COM, 2018).

O rápido crescimento observado na demanda para consumo energético, com todos os problemas inerentes ao atual modelo centrado nas energias não renováveis, faz com que seja imprescindível, a proposição de novos modelos de geração de energia alicerçados na eficiência e na poupança destes recursos e na implementação de outras formas de energias com vistas a viabilizar e sustentar o modo a dinâmica social contemporânea. Este primado desencadeou a gestação de uma racionalidade cultural e científica que trouxe a existência o apogeu de uma era das energias renováveis ou energias sustentáveis (AGENEAL, 2018).

2.1.2 - Energia Renováveis

Energia renovável concretiza uma modalidade de geração energética que é produzida/extraída de fontes que se regeneram espontaneamente ou através da intervenção adequada (leia-se “sustentável”) do homem. Sua utilização tem por objetivo a minimização dos impactos ambientais como a emissão de CO₂ e de poluentes na atmosfera, além de garantir os benefícios sociais e econômicos. Esta tecnologia, vêm se destacando como uma proposta de suprimento mais responsável ambientalmente, o que objetiva assegurar a manutenção sustentável do fornecimento desta energia pelo meio ambiente (TODA MATÉRIA, 2017).

O uso de fontes de energia renovável, e o consequente investimento na sua aplicação para produzir eletricidade, calor ou biocombustíveis para transportes, cresceu exponencialmente nos últimos anos, e sob o signo de práticas sociais sustentáveis, uma aspiração civilizacional e ecologicamente responsável deve estar posicionada a materializar está intencionalidade na busca de que esta tendência se mantenha nas próximas décadas. Isso quer dizer que com o crescimento das cidades, a demanda por energia consequentemente se amplia, neste horizonte, a busca por fontes “energéticas limpas”, ou seja, que não agridem o meio ambiente, pode ser apontada como uma a solução mais viável ambiental e sociologicamente para permitir que as futuras gerações tenham condições de vida e sobrevivência asseguradas (SERRA, 2010).

As transformações ocorridas no setor energético brasileiro têm incentivado o crescimento das fontes renováveis. Em 2015, as fontes renováveis no Brasil totalizaram participação de 41,2% na matriz energética, indicador quase três vezes superior ao indicador mundial, de apenas 13,8%. O país também desponta na matriz de geração elétrica com 82% de renováveis, enquanto o mundo detém 23,8% (BRASIL, 2017a). A maior parte da energia elétrica brasileira é oriunda de usinas hidroelétrica, alcançando um quantitativo de aproximadamente 68%, a biomassa responde por 8,2% o uso da energia solar e eólica tem um percentual de cobertura de 5,4 % (BRASIL, 2017a).

2.1.3 - Energia Hidrelétrica

O Brasil é um país rico em recursos renováveis e sua produção de energia elétrica é baseada nas hidrelétricas, sendo Itaipu a maior delas. Esta encontra-se localizada no Rio Paraná é binacional fazendo divisa com o Paraguai. É a usina hidrelétrica que mais gera energia em todo o mundo. A usina possui 20 unidades geradoras, o que significa que, em condições de clima favoráveis (chuvas em níveis normais), a produção pode chegar a 100 bilhões de quilowatts-hora. Utilizando o potencial do rio Paraná no trecho em que o rio passa pelo estado do Paraná, a usina de Itaipu é uma empresa internacional, e não estatal como pode parecer. Segundo informações da própria empresa, 19,3% da energia consumida no Brasil e 87,3% da energia consumida pelo Paraguai são fornecidas pela Itaipu (PACIEVITCH, 2009), a Figura 2.1 apresenta uma visão aérea da usina.



Figura 2.1 - Visão aérea da Usina de Itaipu.
Fonte: OLIVEIRA (2012).

O funcionamento básico de uma usina hidrelétrica ocorre através do aproveitamento do potencial hidráulico de um rio, através da pressão da água que gira a turbina, transformando a energia potencial em energia cinética. Depois de passar pela turbina o gerador transforma a energia cinética em energia elétrica e chegam nos pontos consumidores (casas, indústrias) através das linhas de transmissão, conforme apresentada na Figura 2.2. Vale ressaltar que para o bom funcionamento desta energia é imprescindível um volume de água que fica represado, e isso depende de fatores climáticos, que muitas das vezes não suprem a demanda requerida fazendo com que se use outras formas de geração.

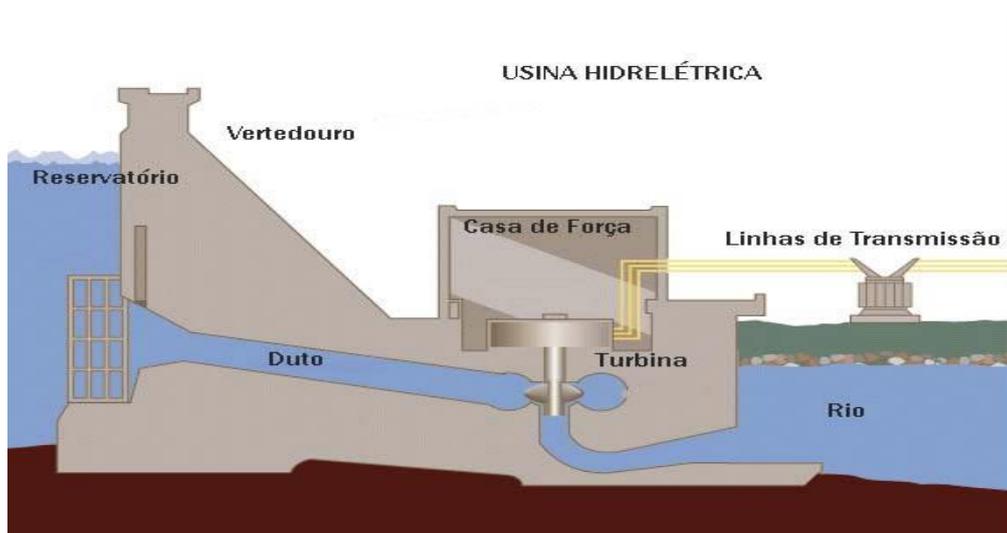


Figura 2.2 - Princípio de Funcionamento de uma Usina Hidrelétrica.
Fonte: ALMEIDA (2018).

Como foi dito anteriormente, o Brasil é rico em recursos renováveis e sua principal fonte são as hidrelétricas e mini hidroelétricas possuindo 1.329 hidroelétricas instaladas totalizando 84,7 MW, conforme informações da ANEEL (2018), que desconsideram aquelas que não foram construídas, ou seja, estão no papel, aguardando a aprovação da obra ou mesmo o recebimento de recursos financeiros para dar início as construções. Esse quantitativo elevado de produção de energia por hidrelétricas no Brasil, é resultado da expressiva quantidade de rios que cortam o país. A Tabela 2.1 a seguir mostra as hidroelétricas existentes no país e sua capacidade instalada.

Tabela 2.1 - Hidroelétricas instaladas no país e sua capacidade instalada.

Hidroelétrica	Localidade	Capacidade (GW)
Tucuruí I e II	Pará	8,54
Itaipu	Paraná	7,00
Ilha Solteira	São Paulo	3,44
Xingó	Sergipe	3,16
Paulo Afonso IV	Alagoas	2,46
Santo Antônio	Roraima	2,29

Fonte: BRASIL (2015).

A Tabela 2.1 aponta Itaipu figurando em segundo lugar na capacidade atrás das Usinas Tucuruí I e II isso porque a paraense possui 25 unidades geradoras (MUSEU VIRTUAL TUCURUI, 2018) enquanto a binacional possui 20. Itaipu é considerada a maior nacionalmente devido a sua produção acumulada que chega a 2,5 bilhões de MWh o que a coloca na frente das internacionais Três Gargantas da China e a venezuelana Guri (ITAIPU BINACIONAL, 2018).

2.1.4 - Energia Eólica

A energia eólica é produzida pela transformação da energia cinética dos ventos em trabalho mecânico para acionamento de turbinas geradoras de energia elétrica similar a hidroelétrica, com a figura 2.3 apresentando um diagrama de uma turbina eólica. A energia eólica, enquanto alternativa aos combustíveis fósseis, é renovável, está permanentemente disponível, pode ser produzida praticamente em qualquer região, é limpa, não produz gases de efeito de estufa durante a produção e requer menos terreno. O impacto ambiental é geralmente menos problemático do que o de outras fontes de energia.

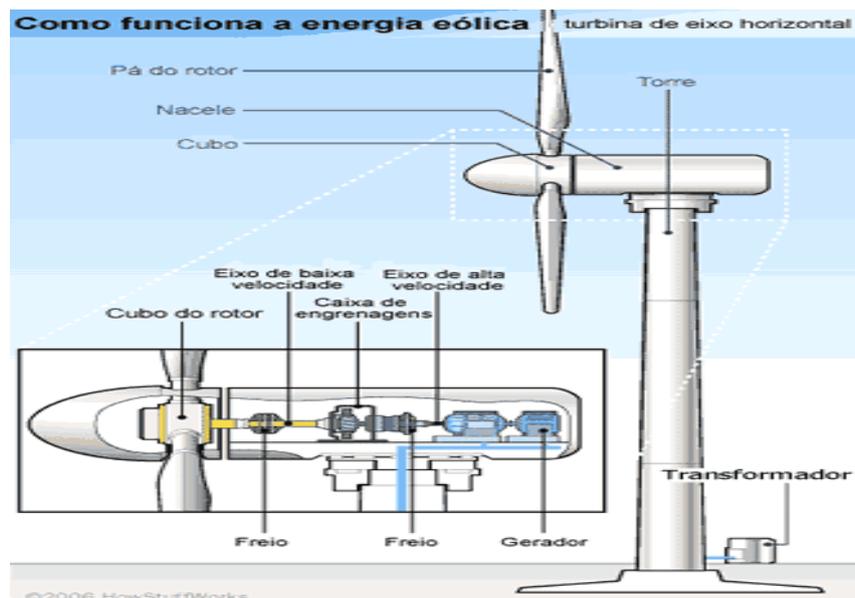


Figura 2.3 - Funcionamento Energia Eólica.
Fonte: PRADO (2010).

Os parques eólicos são conjuntos de centenas de aerogeradores individuais ligados a uma rede de transmissão de energia elétrica. Os parques eólicos de pequena dimensão são usados na produção de energia em áreas isoladas. Contudo, a geração em mega escala é cada vez mais viável sendo aplicada em diferentes partes no mundo. No Brasil já se encontra em operação diferentes parques eólicos com capacidade total de 10.124 MW (BRASIL, 2017a). A Tabela 2.2 mostra os diferentes parques eólicos existentes e sua capacidade instalada.

Tabela 2.2 - Parques eólicos instalados no país e sua capacidade instalada.

Parque	Localidade	Capacidade (MW)
Giribatu	RS	258
Alto do Sertão I	BA	293,6
Osório	RS	300
Desenvix Bahia	BA	95,2
Sangradouro	RS	50
Elebrás Cidreira 1	RS	70

Fonte: ALDABO (2018).

A geração de energia elétrica a partir desta tecnologia é feita pela movimentação de grandes turbinas conhecidas por aerogeradores, em formato de cata-vento ou de moinhos. O aerogerador pode ser dividido da seguinte forma:

- A Torre - é o elemento que sustenta o rotor e a nacele na altura adequada ao

funcionamento da turbina eólica (esse item estrutural de grande porte é de elevada contribuição no custo inicial do sistema).

- Rotor - é o componente que efetua a transformação da energia cinética dos ventos em energia mecânica de rotação. No rotor são fixadas as pás da turbina. Todo o conjunto é conectado a um eixo que transmite a rotação das pás para o gerador, muitas vezes, através de uma caixa multiplicadora.
- Nacele - é o compartimento instalado no alto da torre e que abriga todo o mecanismo do gerador, o qual pode incluir: caixa multiplicadora, freios, embreagem, mancais, controle eletrônico, sistema hidráulico.
- Caixa de multiplicação (transmissão) – é o mecanismo que transmite a energia mecânica do eixo do rotor ao eixo do gerador.
- Gerador – é o componente que tem função de converter a energia mecânica do eixo em energia elétrica.
- Mecanismos de controle – as turbinas eólicas são projetadas para fornecerem potência nominal de acordo com a velocidade do vento prevalecente, ou seja, a velocidade média nominal que ocorre com mais frequência durante um determinado período.
- Anemômetro - Mede a intensidade e a velocidade dos ventos, normalmente, de 10 em 10 minutos.
- Pás do rotor – Captam o vento e convertem sua potência ao centro do rotor.
- Biruta (sensor de direção) – São elas que captam a direção do vento, pois ele deve estar perpendicular à torre para se obter um maior rendimento.

Se por um lado a energia eólica produz energia limpa, gera emprego, porém por outro, ela apresenta aspectos negativos que precisam ser considerados antes de sua instalação: grande impacto visual, acidente de aves que se chocam em suas partes móveis, alto impacto sonoro (quando os ventos atingem as pás, um ruído é gerado).

A energia produzida pelos ventos é melhor aproveitada onde a incidência de ventos é constante, como por exemplo, a costa litorânea do Brasil. Destaca-se, porém, que ventos fortes podem quebrar as pás das torres, por isso uma velocidade sem muitas variações é mais bem aproveitada.

Ressalte-se que, no Maranhão, há instalações recentes de 2017 localizadas entre as cidades de Barreirinhas e de Paulino Neves que estão em funcionamento desde esse ano. Nestes municípios, foi construído um Parque Eólico que abastecerá a região e

conta, atualmente, com 96 aerogeradores, 48 em cada município. (ÔMEGA ENERGIA, 2016).

O investimento com a instalação do referido Parque pela empresa Omega Energia, intitulado Projeto Delta 3, girou em torno de R\$ 1,5 bilhão. A capacidade, atualmente, de geração é de 13% de toda a energia do estado, ou seja, 221MW de energia limpa produzida (MARANHÃO PARA TODOS, 2017).

2.1.5 - Energia solar

A energia obtida pela irradiação solar é sem dúvida um recurso que tem merecido cada vez mais atenção no setor das energias renováveis. A energia proveniente do sol e que atinge a superfície da Terra tem um valor médio de 1700 kWh/m² por ano, neste contexto, o total anual é aproximadamente igual a 10000 vezes o consumo global de energia. A transformação desta energia solar para geração de energia elétrica tem sido cada vez mais difundida e implementada em nível internacional. Apresentada como uma fonte limpa, silenciosa, com sistemas de pouca manutenção, facilmente incorporáveis nas construções e com potencial de aproveitamento em quase todos os lugares do planeta. A Figura 2.4 mostra as diferentes possibilidades de utilização da energia solar.

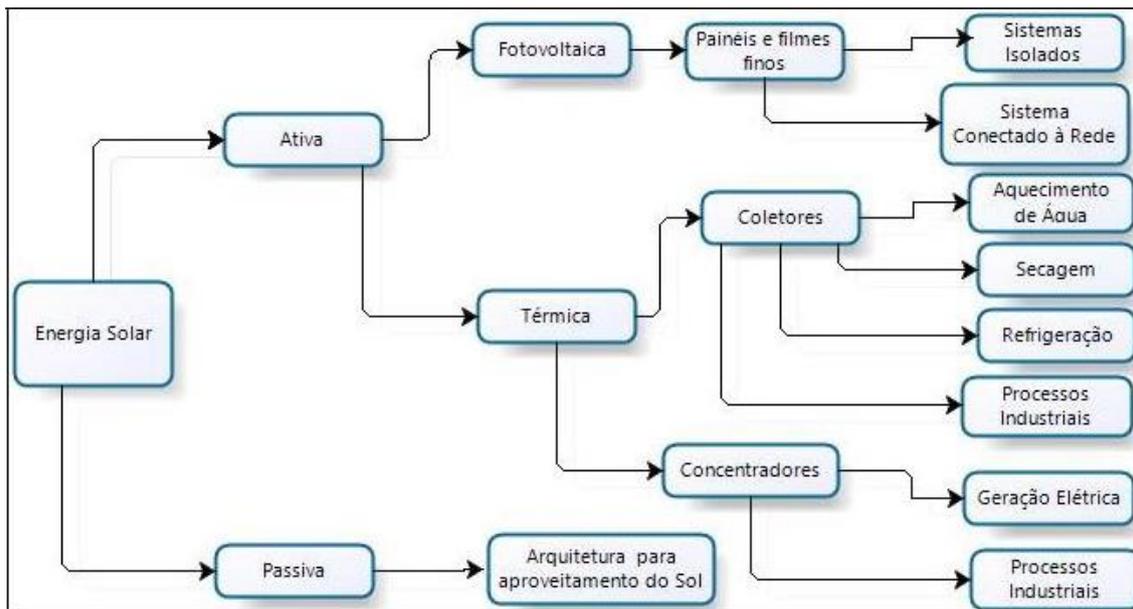


Figura 2.4 - Usos da Energia Solar em Diferentes Setores.
 Fonte: TOLMASQUIM (2003).

2.1.6 - Energia solar térmica

A energia solar térmica é muito utilizada para aquecimento e também produção de eletricidade. Para Villalva (2015), nos sistemas de aquecimento solar o calor é captado por coletores instalados nos telhados de prédios e residências para aquecer a água; dentro dos coletores existem tubos por onde circula a água que é aquecida e depois armazenada em um reservatório, a Figura 2.5 mostra um esquema deste procedimento.

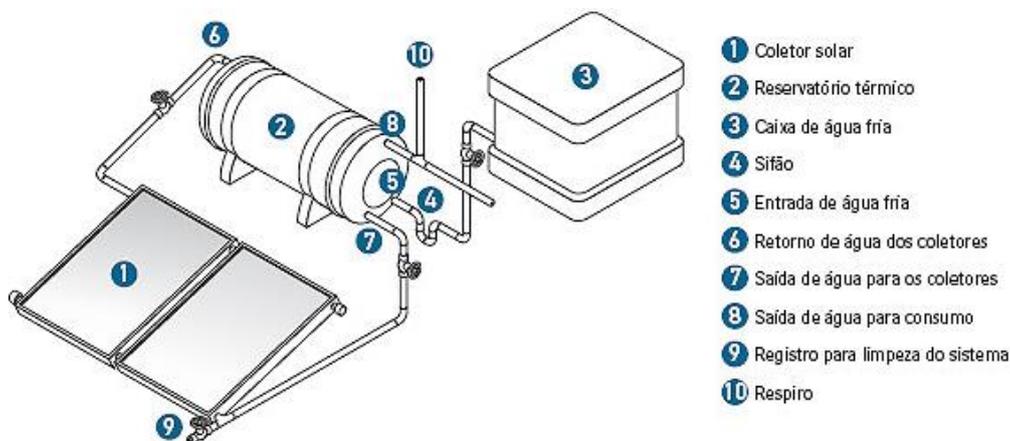


Figura 2.5 - Princípio de funcionamento da energia solar térmica.
 Fonte: PORTAL ECYCLE (2013).

Esta aplicação destina-se a atender setores diversos, que vão da indústria, em processos que requerem temperaturas elevadas (por exemplo, secagem de grãos na agricultura) ao residencial, para aquecimento de água. Outra tendência é a utilização da energia solar para a obtenção conjunta de calor e eletricidade.

A energia solar térmica é usada principalmente para aquecimento de água, é mais comum em residências cujo clima predominante é o frio que se utilizam a energia do sol para produção de eletricidade e como fonte de água quente principalmente nos períodos mais frios. Neste caso, os coletores solares são instalados em telhados de residências que possuem tubos onde a água circula, daí é aquecida e então armazenada em um reservatório (BRASIL, 2017b).

Importante destacar que a ausência de raios solares, geralmente em dias chuvosos, pode dificultar a geração de toda água quente necessária, assim faz-se uso nos aquecedores solares de resistências elétricas ou aquecedores a gás para auxiliar na obtenção da temperatura desejada (PORTAL SOLAR, 2018a).

Outra destinação significativa é no ramo industrial, como por exemplo na secagem de grãos. O sistema consiste no aquecimento da temperatura do ar através de uma estufa coberta, geralmente por vidro ou plástico, utilizando-se um exaustor de calor que permite o transporte do ar quente entre a massa de grãos que está armazenada na câmara de secagem.

No Brasil, pode-se destacar o uso de tal tecnologia no município de Casca-RS, que conforme matéria publicada no Portal do Rio Grande do Sul, propriedades rurais tem se beneficiado do uso desta energia limpa, melhorando a qualidade dos grãos e aumentando o custo de venda final do produto (PLANETA ARROZ, 2006).

2.1.7 - Energia solar fotovoltaica

A tecnologia fotovoltaica consiste na geração de eletricidade a partir da luz, quer seja radiação direta ou difusa. Para o efeito são usados semicondutores, sendo os de silício os mais comuns dado ser este componente bastante abundante na natureza. Contudo, o custo da sua purificação é bastante caro e acarreta elevados gastos de energia (SERRA, 2010).

Uma célula solar, ou célula fotovoltaica, é um dispositivo elétrico que converte a energia da luz do Sol diretamente em energia elétrica através do efeito fotovoltaico. São usadas tradicionalmente 36, 60 ou 72 células fotovoltaicas interligadas em série para

montar um painel fotovoltaico (Módulos Fotovoltaicos). A energia gerada pelos painéis fotovoltaicos é chamada de energia solar fotovoltaica.

O efeito fotovoltaico foi demonstrado pela primeira vez em 1839 pelo físico francês Edmond Becquerel. Aos 19 anos, ele construiu a primeira célula fotovoltaica do mundo no laboratório de seu pai. Em 1883 Charles Fritts construiu a primeira célula fotovoltaica em estado sólido. Ele revestiu o semicondutor selênio com uma fina camada de ouro para formar as junções. A célula fotovoltaica de Charles tinha apenas 1% de eficiência. Em 1905 Albert Einstein propôs uma nova teoria quântica da luz e explicou o efeito fotoelétrico em uma de suas teses, pela qual recebeu o Prêmio Nobel de Física em 1921. A primeira célula fotovoltaica comercial foi lançada em 25 de Abril 1954 pelo Laboratório Bell.

As células solares foram utilizadas pela primeira vez no satélite Vanguard em 1958, como uma fonte de energia alternativa. Em 1959 os Estados Unidos lançou o Explorer 6 com grandes painéis solares em forma de asa. Um total de 9600 células solares fotovoltaicas. Isso se tornou uma característica padrão na maioria dos satélites e até hoje ainda é a principal fonte de energia utilizada no espaço. No início de 1990 a tecnologia utilizada nas células fotovoltaicas utilizadas no espaço mudou do tradicional silício cristalino para materiais semicondutores à base de arseneto de gálio. Hoje, essas células fotovoltaicas evoluíram para a moderna tecnologia de multi junções.

Para se produzir uma célula fotovoltaica é necessária a utilização de diversos gases e químicos. Hoje o controle de produção das células é extremamente alto elas são produzidas em um ambiente controlado e todos os resíduos são tratados. Desta forma, o impacto ambiental das células é praticamente nenhum.

De longe, o material mais utilizado para a fabricação das células solares de silício cristalino é (C-Si), também conhecido como “silício de grau solar”. Se você tem um painel solar em sua casa, 99% de chance que ele utiliza o silício cristalino como base para as suas células. As células de silício cristalino são fatias de lingotes de silício cristalino que são depois tratadas quimicamente para que possam produzir energia elétrica com a luz do sol através do efeito fotovoltaico (PORTAL SOLAR, 2018b).

2.1.7.1 - Célula de Silício Monocristalino (Mono-Si)

Estas células solares são mais eficientes que a maioria das outras. As extremidades das células são recortados, como um octógono, porque as finas fatias de

lâminas de silício são cortadas a partir de lingotes cilíndricos, que são tipicamente produzidas via processo Czochralski, tal processo é um método de cultura de cristais usado para a produção industrial de monocristais de uma diversidade de materiais cristalinos para os quais se pretende elevada pureza e cristais isentos de defeitos. A metodologia é utilizada na produção de materiais semicondutores, como o silício, o germânio e o arseneto de gálio, de metais para os quais se pretende um elevado grau de pureza química, como o paládio, a platina, a prata e o ouro, e de diversos sais e gemas sintéticas (CONHECIMENTO GERAL, 2016). Os painéis solares que utilizam células mono-Si exibem um padrão distinto de pequenos diamantes brancos (PORTAL SOLAR, 2018b).

2.1.7.2 - Célula de Silício Policristalino (multi-Si)

As células também são feitas de silício purificado, porém o processo de fundição é diferente. O silício purificado é fundido em grandes blocos e são o tipo mais comum usado em painéis fotovoltaicos e são menos eficientes do que as feitas de silício monocristalino (PORTAL SOLAR, 2018b).

2.1.7.3 - Célula fotovoltaica de filme fino

Os painéis que usam a tecnologia de filme fino são produzidos pela técnica onde é depositada uma ou várias camadas finas de material fotovoltaico sobre um substrato é a essência básica de como os painéis fotovoltaicos de filme fino são fabricados, A maioria dos painéis desta tecnologia possuem eficiências de conversão de 2-3 pontos percentuais mais baixos do que o silício monocristalino, contudo possui algumas vantagens como diminuição dos custos de produção, diminuição do consumo de energia durante a produção das células (OLIVEIRA, 2008). É a principal tecnologia utilizada em pequenas células fotovoltaicas como as empregadas em calculadoras, sendo produzidas a base de telureto de cádmio (CdTe), seleneto de cobre gálio e índio (CIGS) e silício amorfo (a-Si). A maior empresa fabricante de filme-fino do mundo é a First Solar (EUA) que usa os seus painéis principalmente em usinas solares (PORTAL SOLAR, 2018b).

2.1.7.4 - Célula Fotovoltaica de Heterojunção (HJT)

Células de silício heterojunção consistem em camadas finas de silício amorfo depositadas em wafers de silício monocristalino. Esta combinação entre a tecnologia tradicional de silício cristalino com a de silício amorfo (filme fino) aumenta em 20% a eficiência das células e é provavelmente a tecnologia com o maior potencial de crescimento. Ou seja, em 10 anos talvez você já tenha painéis de HJT na sua casa (PORTAL SOLAR, 2018a).

2.1.8 - Funcionamento de uma célula fotovoltaica

Grande maioria das placas fotovoltaicas são feitas de silício, material abundante na natureza, é semicondutor e possui a capacidade de absorver radiação solar. Os painéis ao absorverem radiação solar produzem energia elétrica em Corrente Contínua (CC) e essa energia é enviada para um inversor. O inversor converte CC em Corrente Alternada (CA) e conecta-se a *String Box*. A *String Box* é como se fosse um Quadro de Distribuição que residências, edificações comerciais e industriais tem, esse tem o objetivo de ligar as cargas elétricas na edificação e aquelas são usadas para proteção dos módulos contra surtos de redes. É importante salientar que os painéis solares não estão soltos no telhado, mas fixos graças a estruturas de suporte que os fixam e demais componentes e os cabos fazem ligações entre os painéis e demais equipamentos (DI SOUZA, 2017).

A célula fotovoltaica reage com a incidência dos raios do sol e libera elétrons que, então, são transferidos para um circuito dentro de um painel solar, gerando assim energia elétrica.

Na natureza é possível localizar materiais condutores, semicondutores e isolantes; os condutores são os que viabilizam grande condutividade como cobre, alumínio e ouro; os semicondutores são aqueles que permitem condutividade entre condutores e isolantes como é o caso do Silício e Germânio; já os isolantes possuem baixíssima condutividade, e como exemplos é possível destacar a borracha e madeira. O Silício é um material muito utilizado na construção de dispositivos eletrônicos como o diodo, transistor e atualmente muito empregado na fabricação de painéis FV e tais componentes apresentam materiais tipo N e P.

O material semiconductor pode ter suas características alteradas pela inserção de átomos diferentes nesses materiais semicondutores puros, assim, essas impurezas são capazes de alterar as propriedades elétricas do material. O material que foi submetido a um processo de dopagem pode ser denominado de extrínseco, sendo que existem dois importantes tipos dessa configuração: tipo N e tipo P (BOYLESTAD e NASHELSKY, 2013).

A dopagem química pode ser vista na Figura 2.6 e ocorre quando átomos diferentes são inseridos em uma determinada estrutura cristalina de uma dada substância. O material de tipo p, ou seja, positivo, é produzido pela inserção de um átomo com excesso de elétrons na estrutura cristalina em relação aos átomos da rede (WENDLING, 2011).

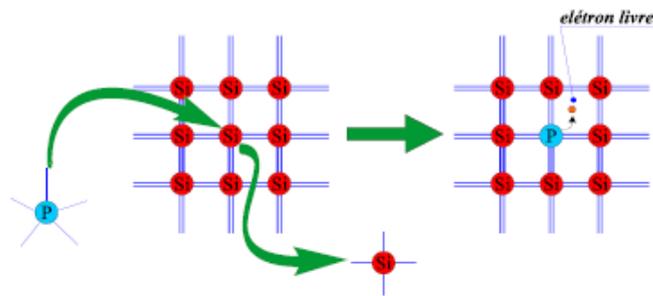


Figura 2.6 - Átomo de fósforo (P) sendo inserido na estrutura cristalina do silício (Si).
Fonte: SENAI (2011).

Ao inserir vários átomos de impurezas, os elétrons vão transitar livremente pelo material, tornando um material isolante em material com um nível de condutividade elétrica conforme Figura 2.7.

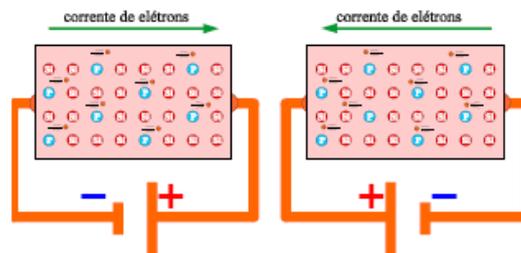


Figura 2.7 - Elétrons circulando livremente por átomos de fósforo (P) silício (Si) sendo aplicada uma diferença de potencial entre os terminais.
Fonte: SENAI (2011).

Já nos materiais de tipo N são inseridos elementos com excesso de elétrons, já

no tipo P, com deficiência dessa carga e para exemplificar estão Índio (In), Boro (B) e Gálio (Ga) e estão presentes no Grupo III da Tabela Periódica como mostra a Figura 2.8.

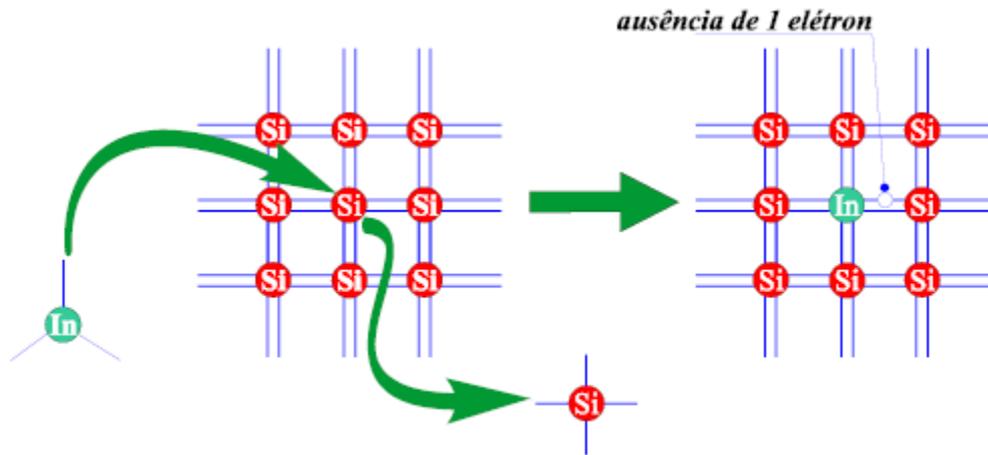


Figura 2.8 - Átomo de Índio (In) sendo inserido na estrutura cristalina do silício (Si).
Fonte: SENAI (2011).

A Figura 2.8 é possível identificar uma ausência do elétron que faria o par necessário para estabelecer a ligação com o átomo do Índio, a essa ausência é denominada de lacuna.

A existência de lacunas viabiliza com que haja um mecanismo de condução distinto do tipo N. Quando a dopagem produz lacunas no semiconductor, um elétron proveniente de uma ligação covalente só poderá transitar para um ponto do cristal onde haja uma lacuna disponível.

A Figura 2.9 abaixo mostra a movimentação de átomos do terminal negativo para o terminal positivo e as lacunas em um semiconductor dopado.

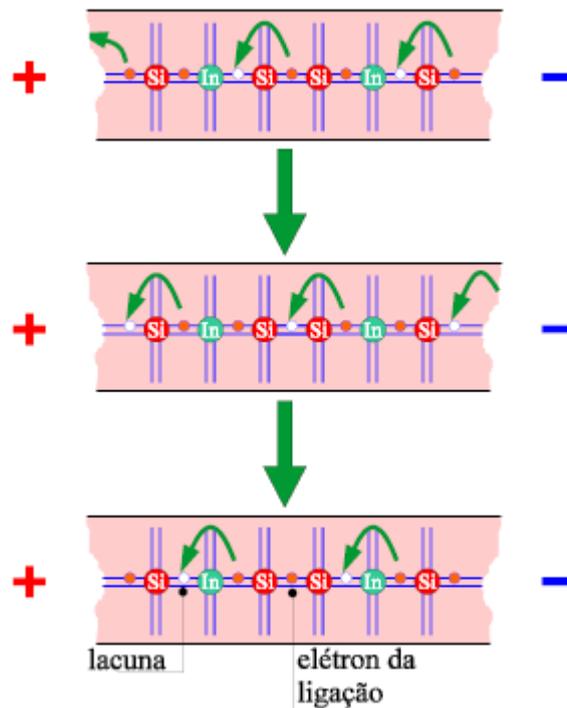


Figura 2.9 - Movimentação de átomos de valência.
 Fonte: SENAI (2011).

A partir da Figura 2.9, observa-se a movimentação de átomos do terminal negativo para o terminal positivo e as lacunas em um semiconductor dopado que se comportam como cargas positivas e podem transitar em um cristal submetido a uma tensão externa aplicada (SENAI, 2011).

A partir dos parágrafos anteriores é importante notar que as ligações entre os materiais tipo P e N são fundamentais para a construção e funcionamento das placas fotovoltaicas que geram energia solar limpa, inesgotáveis, o efeito fotovoltaico acontece quando surge uma tensão elétrica em um material semiconductor e este material é exposto a luz visível solar. Quando os painéis são expostos à radiação solar, os fótons contidos na luz transmitem a sua energia aos materiais semicondutores que libertam elétrons da união P-N para o circuito exterior da união P-N, produzindo assim corrente elétrica (FUNCIONAMENTO, 2011).

2.1.8.1 - Funcionamento energia solar

O sistema de energia solar fotovoltaica (ou gerador de energia solar) funciona da seguinte forma:

- O Painel Solar Fotovoltaico produz energia elétrica em corrente contínua;
- O Inversor Fotovoltaico transforma esta energia em corrente alternada pronta para ser usada na sua casa ou empresa;
- A energia elétrica produzida pelas células fotovoltaicas nos painéis e transformada pelo inversor é conduzida ao seu quadro de luz (quadro de distribuição);
- Tudo o que estiver conectado na tomada irá automaticamente usar a energia gerada com a luz do Sol;
- Se produzir menos energia do que esta consumindo então o que lhe falta é fornecido automaticamente pela rede pública. Caso se produza mais energia do que esta utilizando esta energia excedente é jogada na rede pública e um novo relógio de luz (relógio de luz bi-direcional) irá contabilizar esta energia que ficará como um saldo positivo. Este saldo será automaticamente deduzido quando você precisar usar a energia da rede novamente. Ou seja, desta forma você pode fazer a troca com a rede elétrica e reduzir em 90% a sua conta de luz.

As etapas acima podem ser simplificadas através da Figura 2.10 que demonstra o funcionamento da energia solar.

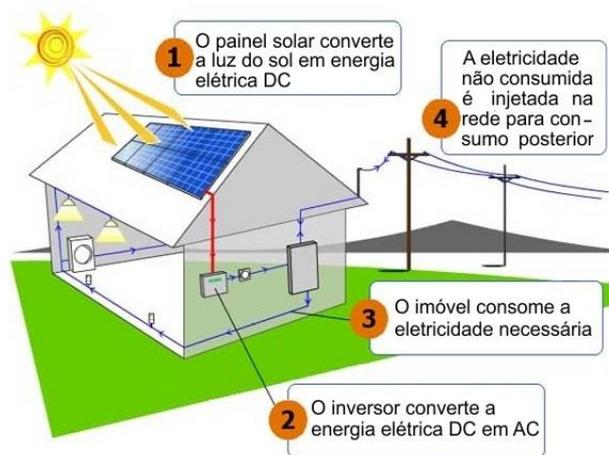


Figura 2.10 - Funcionamento da Energia Solar.
Fonte: PADRÃO SOLAR (2018c).

2.1.9 - Células a combustível

A descoberta foi com William R. Grove nascido no País de Gales, físico britânico Superior da Grã-Bretanha (a partir de 1880), que construiu a primeira célula de combustível em 1842 e primeiro ofereceu prova da dissociação térmica de átomos dentro de uma molécula. Em 1839, ele desenvolveu a célula elétrica de dois fluídos, conhecida como a bateria Grove, consistindo em zinco amalgamado em ácido sulfúrico diluído e um cátodo de platina em ácido nítrico concentrado, sendo os líquidos separados por um recipiente poroso. Na Instituição de Londres, onde foi professor de filosofia experimental (1840-47), ele usou suas baterias de platina e zinco para produzir luz elétrica para uma de suas palestras. Em 1842, ele desenvolveu a “bateria de gás”, a primeira célula de combustível, na qual a formação de água a partir de hidrogênio e gás oxigênio gerou uma corrente elétrica (SCHUMM, 2013).

A demanda das sociedades pela geração de eletricidade exige ir além da produção desta por hidrelétricas, dos painéis fotovoltaicos, das pás de turbinas eólicas, na contemporaneidade uma modalidade tecnologia de produção energética que vem ganhando cada vez mais espaço são as Células de Combustível, estas representam uma tecnologia nova, mas que seguramente tem um mercado promissor principalmente no Brasil.

As células de combustível são equipamentos que podem gerar energia elétrica, elas não poluem (a emissão de poluentes é baixíssima), possuem grande autonomia e não geram ruído. Essas características são ideais para centrais estacionárias como aeroportos, *shoppings centers* e hospitais, sendo bastante utilizada no abastecimento de aeronaves espaciais e a água serve de consumo para os astronautas (ALEMIDA, 2018).

Como possuem alta eficiência, para mesmas quantidades de energia, elas precisam de menos combustível e conseqüentemente um compartimento para armazená-lo, e fundamentalmente são consideradas como uma fonte limpa de combustível (ALMEIDA, 2018).

O Japão é um país que por especificidades territoriais e geológicas possui poucas alternativas de energias renováveis, por isso, os asiáticos investem na tecnologia de células de combustível para geração de eletricidade (WENDT *et al.*, 2001).

Diferentemente da nação japonesa, o Brasil, por possuir um grande potencial energético, com ênfase na geração hidroenergética, a utilização das células de combustíveis no país é indicada em locais remotos como sistemas estacionários de

energia e em locais com até 100 kW de potência.

LOPES (1999) lista as vantagens a utilização de células de combustível:

- Locais como hospitais que precisam o tempo todos seus equipamentos ligados e ser abastecido com água e energia elétrica ininterruptamente, centrais de equipamentos eletrônicos que não podem ser desligados ou ter a energia interrompida, as células são viáveis para essas aplicações;
- Linhas de transmissão são construídas desde a geração até o ponto consumidor, são milhares e milhares de linhas para chegar no destino, através das células de combustível os custos seriam reduzidos uma vez que esse tipo de energia pode ser instalado no próprio local e dispensando assim uso de geradores como fonte auxiliar de energia;
- Gás natural, etanol e metanol são alguns exemplos de combustíveis a serem aplicados como alimentação das células;
- Caldeiras e *chillers* são equipamentos grandes, pesados, ocupam muito espaço e o calor residual gerado pelas células pode ser usado como aquecimento de água e como refrigeração por absorção.

Como o uso de toda tecnologia não é 100% vantajosa, faz-se necessário também explicar a respeito das desvantagens no uso das células de combustíveis:

- Tecnologia em desenvolvimento;
- Utiliza metais nobres como platina;
- Elevado custo atual em comparação com as fontes de energia convencionais;
- Problemas e custos associados ao transporte e distribuição de novos combustíveis, por exemplo, hidrogênio;
- Custos de materiais usados na produção das células e dos processos de fabrico;
- Poucas pessoas tem o conhecimento desse tipo de energia.

No tocante ao princípio de funcionamento, as células de combustíveis possuem um sistema de potência que consiste basicamente de três sub-sistemas: o primeiro realiza o processamento do combustível, convertendo-o numa mistura gasosa rica em hidrogênio; no segundo, a célula propriamente dita, converte a energia química desta mistura em eletricidade e energia térmica; já o terceiro, atua como um inversor, transforma a corrente contínua em alternada para a utilização final (LOPES, 1999).

Células a combustível são, em princípio, baterias de funcionamento contínuo,

que produzem corrente contínua pela combustão eletroquímica a frio de um combustível gasoso, geralmente hidrogênio (WENDT *et al.*, 1999).



No outro eletrodo, também de difusão gasosa, considerando-se as células a membrana trocadora de prótons (meio ácido), tem-se a reação:



Somando as equações Eq. (2.1) e Eq. (2.2) obtemos Eq. (2.3) que é o produto final:



Uma célula de combustível é constituída por 2 terminais, um positivo e um negativo, um eletrólito, uma certa carga elétrica. Sendo que dentro do eletrólito, existem íons circulando entre os terminais. No terminal ânodo entra combustível e no cátodo entra ar/oxigênio. O eletrólito tem a função de atuar como um meio que permite aos íons (H^+ , OH^- , O^{2-} , CO_3^{2-} , ...) passarem no sentido de um eletrodo para o outro eletrodo ao atravessarem o eletrólito (SANTOS e SANTOS, 2004). A Figura 2.11 mostra um esquema de uma célula combustível do tipo óxido sólido.

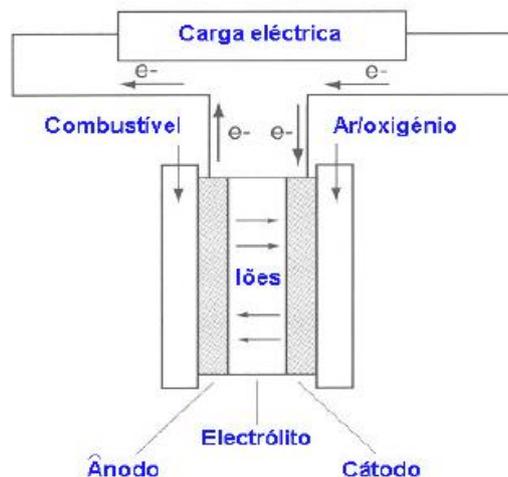


Figura 2.11 - Princípio de funcionamento duma célula de combustível.
Fonte: SANTOS e SANTOS (2004).

Pode-se comparar uma célula a combustível com um sanduíche, cada camada do

lanche possui uma finalidade específica, os eletrodos são as camadas e tem o objetivo de ganhar e perderem elétrons (cátodo e ânodo) e pelo eletrólito é constituído de poros para que possa ocorrer a passagem dos gases.

Revestindo o eletrólito tem-se o catalisador. O catalisador tem a função de acelerar as reações químicas e quebrar as moléculas de hidrogênio. O níquel e a platina são usados como catalisadores (HOFFMANN, 2005).

O gás hidrogênio é o eletrodo terminal negativo, o ânodo. E o gás oxigênio é o eletrodo terminal positivo, o cátodo (HOFFMANN, 2005). Conclui-se que de um lado da célula entra o hidrogênio e do outro lado o oxigênio.

O eletrólito juntamente com o catalisador é a razão do funcionamento de uma célula a combustível. O eletrólito pode estar no estado sólido ou líquido, permitindo o movimento dos prótons. Já os elétrons não passam pelo eletrólito e, sim, por um circuito externo instalado na célula a combustível, sendo aproveitado para acender alguma lâmpada.

Uma célula de combustível é constituída por uma associação em série de células de combustível, uma vez que cada célula individual produz apenas uma tensão aproximada de 0,8 V. Essa célula a combustível tem a capacidade capaz de produzir energia elétrica através de reações de oxirredução; ou seja, um transdutor eletroquímico, de operação contínua, que basicamente converte energia química em energia elétrica ao combinar um átomo de oxigênio a dois átomos de hidrogênio produzindo água, energia elétrica e energia térmica. Assim, é possível compreender que a célula a combustível é uma tecnologia que utiliza a combinação química dos gases Oxigênio (O_2) e Hidrogênio (H_2) para gerar energia elétrica, térmica e, como resíduo, eliminação de água (RODRIGUES, 2010).

Uma célula de combustível se assemelha a uma bateria em muitos aspectos, mas pode fornecer energia elétrica por um período de tempo muito mais longo. Isso ocorre porque uma célula de combustível é fornecida continuamente com combustível e ar (ou oxigênio) a partir de uma fonte externa, enquanto que uma bateria contém apenas uma quantidade limitada de combustível e oxidante que são esgotados com o uso. Por esta razão, as células de combustível foram usadas por décadas em sondas espaciais, satélites e naves espaciais tripuladas.

Como dito anteriormente, uma célula a combustível pode ser comparada com um sanduíche, isso porque cada camada do lanche possui uma finalidade específica, nas células os eletrodos são as camadas e tem o objetivo de ganhar e perderem elétrons

(cátodo e ânodo) e pelo eletrólito é constituído de poros para que possa ocorrer a passagem dos gases. Revestindo o eletrólito tem-se o catalisador. O catalisador tem a função de acelerar as reações químicas e quebrar as moléculas de hidrogênio. O níquel e a platina são usados como catalisadores (HOFFMANN, 2005).

O eletrólito juntamente com o catalisador é a razão do funcionamento de uma célula a combustível. O eletrólito pode estar no estado sólido ou líquido, permitindo o movimento dos prótons. Já os elétrons não passam pelo eletrólito e, sim, por um circuito externo instalado na célula a combustível, sendo aproveitado para acender alguma lâmpada.

2.1.9.1 - Tipos de Células de Combustível

Os tipos de Células de Combustível podem ser encontrados na Tabela 2.3, bem como suas vantagens, desvantagens e onde podem ser aplicadas:

Tabela 2.3 - Diferentes tipos de células com suas vantagens e desvantagens.

Tipo	Vantagens	Desvantagens	Aplicações
AFC	Alta eficiência	Sensibilidade a CO ₂ ; Gases ultrapuros;	Espaçonaves e aplicações militares
PEMFC	Alta densidade de potência; Fabricação simples; Flexibilidade de operação; Sem corrosão;	Custo da Membrana; Problemas de hidratação; Envenenamento por CO;	Veículos automotores; Aplicações móveis Unidades estacionárias
DMFC	Combustível líquido;	Cross-over do metanol; Oxidação lenta; Menor densidade de potência;	Aplicações portáteis
PAFC	Maior desenvolvimento tecnológico	Envenenamento por CO; Controle da porosidade do eletrólito; Corrosão;	Geração de energia e calor 100 kW a alguns MW
MCFC	Tolerância ao CO e CO ₂ Eletrodos de Níquel	Necessidade de reciclo de CO ₂ ; Problemas com materiais; Interface trifásica de difícil controle	Geração de energia e calor 100 kW a 1 MW
SOFC	Alta eficiência Reformador interno	Problemas com materiais; Expansão térmica	Geração de energia e calor Dezenas de kW

Fonte: Adaptado de HOFFMANN (2005).

A partir da Tabela 2.3 uma célula que merece destaque é a SOFC, que utiliza o hidrogênio junto do gás monóxido de carbono como combustível, em temperaturas elevadas como 900 °C os eletrólitos são óxidos refratários que mesmo no estado sólido possuem condutividade iônica adequada ao uso. Como trabalha em elevadas

temperaturas (800 °C a 1.000°C) as reações nos eletrólitos acontecem de maneira muito rápida.

O calor produzido pode ser utilizado para produzir mais energia elétrica, utilizando turbinas a vapor. Dispensam a utilização de catalisadores à base de materiais nobres e de alto custo (LOPES, 1999).

Composição de uma célula a combustível ideal podem ser vistas na Figura 2.12. As células de óxido sólido apresentam 3 variações: tubular, planas e monolítica.

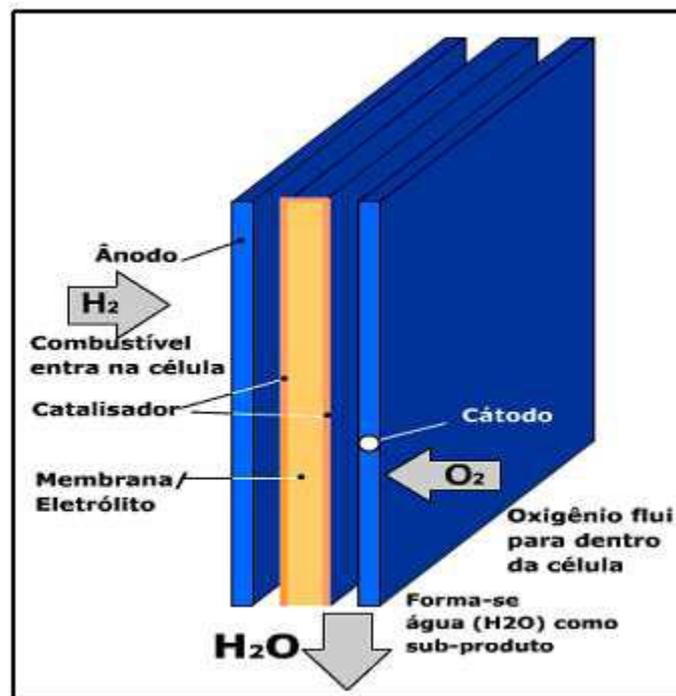


Figura 2.12 - Composição de uma célula a combustível ideal.
Fonte: RODRIGUES (2010).

As células de combustível de óxido sólido seriam projetadas para uso em estações centrais de geração de energia, onde a variação de temperatura poderia ser controlada eficientemente e onde os combustíveis fósseis estarão disponíveis. O sistema seria, na maioria dos casos, associado ao chamado ciclo de vapor de base (turbina), ou seja, o produto de gás quente (a 1.000 ° C) da célula a combustível poderia ser usada para gerar vapor para executar uma turbina e extrair mais energia da energia térmica. Podem ser possíveis eficiências globais de 60%.

2.1.9.2 - Aplicações

As células de combustível são classificadas conforme a temperatura, aplicações e o eletrólito utilizado, o presente trabalho prevê a aplicação analisada será a SOFC justamente a que será base para a realização do estudo a qual este trabalho se propõe. Este tipo de célula de combustível, classifica-se como fonte de energia estacionária, que possuem alta eficiência e podem ser utilizadas para geração de energia e calor.

2.1.9.3 - Células de Combustível no Brasil

No Brasil, segundo HOFFMANN (2005) grandes centros urbanos como as capitais Curitiba, Rio de Janeiro e São Paulo concentram o uso desta tecnologia, sendo portanto, uma prática ainda pouco disseminada no restante do país. Na verdade, o que corrobora para a morosidade dos avanços das pesquisas e implementação desse tipo de energia renovável no país são os altos investimentos que as células de combustível demandam, contribuindo, assim, na escassez de profissionais habilitados no manejo dessa tecnologia.

Conforme já explanado nos parágrafos anteriores no que se refere ao quantitativo e avanços do uso da energia renovável no Brasil, é notável que o país tem uma grande infraestrutura em energia limpa. Assim, apesar das dificuldades e alto custo do emprego do uso do hidrogênio como fonte de combustível, pode-se afirmar que há perspectivas de grande crescimento no amadurecimento do emprego dessa tecnologia, gerando uma grande promessa de maturidade da técnica, avanços das pesquisas e geração de empregos, visto os incentivos que estão sendo direcionados na área de energias renováveis, conforme parágrafo a seguir.

No ano de 2005, o Brasil apresentou o seu programa do hidrogênio: que ficou conhecido como a “Política Brasileira do Hidrogênio” lançada pelo Ministério de Minas e Energia foi um estudo iniciado em 2005 cujo objetivo principal era implementar até 2025 a economia do hidrogênio no Brasil. Foi proposto ao Presidente brasileiro políticas e medidas para o setor de energia nacional, que usou como base o Programa do Biodiesel que obteve resultados exitosos e organizou assim o roteiro para adoção do hidrogênio como fonte de energia.

Em tal política foi criado um roteiro para uso do hidrogênio na matriz energética e no documento merecem destaque alguns pontos como: no ano de 2020 o hidrogênio

fará parte da matriz energética do país; o etanol foi escolhido como a fonte principal de hidrogênio. Considera-se também a sua utilização direta (oxidação direta em células a combustível); a produção de hidrogênio via eletrólise da água é considerada, utilizando-se eletricidade secundária de usinas hidroelétrica; outras biomassas, além da cana de açúcar, devem ser utilizadas para a produção de hidrogênio, incluindo-se o biogás e um item que merece destaque: as aplicações do Hidrogênio será para geração energética e ônibus utilizarão como produção de energia (LINARDI *et al.*, 1999).

O Brasil, na realidade, reforçou os estudos e avanços no desenvolvimento da tecnologia de célula a combustível no ano 2000. Foi justamente em 2002, que o Ministério da Ciência e Tecnologia lançou o ProCac (Programa Brasileiro de Sistemas de Células a Combustível), que conforme relatório Programa Brasileiro de Células a Combustível - Proposta apontou poucos avanços devido à produção, armazenamento e distribuição do gás, montagem e custos dos equipamentos, uso de novos materiais para eletrodos e catalisadores, desenvolvimento de mão de obra, reconhecer patentes utilizando tal tecnologia e aceitação da população. Podem-se citar mais entraves como: parcerias entre vários setores da economia, necessidade de políticas de Pesquisa e Desenvolvimento na área industrial, criar e manter empresas desse novo segmento e direitos no âmbito de comercialização.

No entanto, no ano de 2004, e segundo os estudos desenvolvidos por HOFFMANN (2005) o programa começou a ganhar novo impulso mesmo com poucos recursos direcionados, mas que ainda hoje tem rendido pesquisas e inovações ainda tímidas, porém relevantes.

Para exemplificar tais avanços no uso das células de combustível no mercado nacional, tem-se como os estudos desenvolvidos na Unicamp (Universidade Estadual de Campinas) que lançou, de forma pioneira em 2004, o primeiro veículo elétrico do Brasil, o Vega II.

O veículo é impulsionado por célula de combustível importada, compacta e alimentada por hidrogênio comprimido. Sua potência é de aproximadamente 5kW, aparentemente baixa se comparada aos veículos desenvolvidos pelas grandes empresas automobilísticas (entre 50 e 90kW).

A partir da Tabela 2.3 verifica-se atualmente, no Brasil, a Fabricante Nissan utilizando a célula PEMFC em agosto de 2017, revelou seu protótipo de veículo movido a célula de combustível de óxido sólido (Figura 2.13), o que se depreende avanços no que tange ao desenvolvimento dessa tecnologia no ramo automobilístico, segundo

notícia no Portal Novacana (2016).



Figura 2.13 - Protótipo da Nissan com autonomia de 600 km.
Fonte: NOVACANA (2016).

Por sua vez, a EMTU/SP (Empresa Metropolitana de Transportes Urbanos de São Paulo) foi responsável pelo gerenciamento do projeto do ônibus a hidrogênio em parceria com o Ministério de Minas e Energia e apoio financeiro do FINEP e PNUD/GEF (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento). Este projeto, conforme informações do portal EMTU.SP, 2018 foi criado em Caxias do Sul/RS, sendo o primeiro ônibus a utilizar, no país, célula de combustível. Em 2009, foram realizados os primeiros testes operacionais, para depois ser implementado no corredor metropolitano de São Paulo. Somente em 2010, foram feitas simulações e no mesmo ano, entrou em funcionamento com passageiros reais (SÃO PAULO, 2018).

Na mesma esteira, a UFRJ, a Petrobrás, o Lactec, a Electra e a Caio Induscar, desenvolveram o projeto do ônibus Híbrido, que se utiliza de *“um sistema de células a combustível e uma bateria, com cerca de 70kW de potência e desempenho comparado aos ônibus convencionais de mesma capacidade entre 210 e 240 cavalos”*. (HOFFMANN, 2005). Conforme mencionou-se, o ônibus híbrido utilizando a tecnologia PEMFC, intitulado H₂+2, foi desenvolvido por alunos da UFRJ com parcerias com a Lactec, Petrobrás, Electra e Caio Induscar, o H₂+2. O veículo na Figura 2.14 é movido a energia elétrica que é proveniente da bateria abastecida na rede e o resto da energia com energia produzida a bordo, por meio de célula a combustível

alimentada com hidrogênio.

É um veículo silencioso, com eficiência energética maior que a dos ônibus a diesel e com emissão zero de poluentes. Com tecnologia 100% nacional, o veículo foi lançado durante a Rio+20, o evento promovido pela Organização das Nações Unidas (ONU) em 2012, no Rio de Janeiro (COPPE UFRJ, 2018a).



Figura 2.14 - Alunos da UFRJ criaram o ônibus híbrido.
Fonte: COPPE UFRJ (2018b).

Como se pode observar, no Brasil já existem importantes instituições com o propósito de pesquisas e projetos para o desenvolvimento das células de combustível, na medida em que significantes resultados já foram apresentados conforme se listou nos parágrafos anteriores. No entanto, ainda se caminha à passos lentos, na medida em que novos investimentos e incentivos são imprescindíveis para o desabrochar dessa revolucionária tecnologia.

É muito importante para o Brasil, que várias instituições se dediquem, de formas variadas à tecnologia de células a combustível, como pesquisa; projeto; combustível; aplicações; etc., para que o país possa, a médio prazo, recuperar o tempo perdido e esteja em condições de nuclear empresas no setor, capazes de competir no mercado futuro de energia. Este mercado será, seguramente, mais exigente, tanto em relação à

eficiência de aplicação das fontes de energia, como em relação ao aspecto ambiental. (LINARDI *et al.*, 1999).

2.1.10 - Edificações similares

O trabalho segue apresentando edificações brasileiras que usam painéis fotovoltaicos em seus telhados e demais equipamentos solares gerando energia limpa, sem ruído e inesgotável.

Importante salientar que a expansão do uso de painéis fotovoltaicos no país no último ano vem sido impulsionada pelos incentivos previstos na Lei 4536/2017, que prevê alíquota 0 (zero) do IPI (Imposto sobre Produto Importado) sobre coletores térmicos ou painéis para aquecimento de água; estipulando um prazo de 10 (dez) anos, como limite máximo para que os prédios pertencentes à Administração Pública Federal, direta ou indiretamente, e que apresentem um consumo de água aquecida igual ou superior a vinte por cento do consumo total de água, instalem equipamentos de energia solar ou eólica a partir da data de vigor da norma. Esta legislação também dispõe que as novas construções do tipo popular, como exemplo as do Programa “Minha casa minha vida”: já deverão possuir células fotovoltaicas. A norma prevê ainda que as construções populares já existentes terão acesso a financiamento subsidiados pela União para implementar células de energia solar e quando não for possível instalar energia solar, a União deverá empregar outra energia limpa e não poluente (LEI 4536/2017).

A Figura 2.15 mostra o Brasil Center, edificação que usa painéis fotovoltaicos para geração de eletricidade alternativa.



Figura 2.15 - Edificação Brasil Center em Pinheiro.
Fonte: ENOVA (2018).

A Figura 2.16 apresenta uma edificação comercial maranhense que usa painéis fotovoltaicos para geração de eletricidade alternativa.



Figura 2.16 - Mercadinho Maythá e seu telhado com painéis fotovoltaicos para geração de eletricidade.
Fonte: ENOVA (2018).

A Figura 2.17 a seguir mostra a Usina Solar, localizada em Pirapora-MG, usando painéis fotovoltaicos para geração de eletricidade alternativa que segundo

SOLENERG, o terreno poderia fornecer energia para 420.000 casas no período de um ano.



Figura 2.17 - Usina de Energia Solar em Pirapora.
Fonte: SOLENERG (2017).

A Figura 2.17 anterior mostra a maior usina de energia solar da América Latina, instalado em Pirapora (MG), o parque fotovoltaico conta com mais de um milhão de painéis solares, em um terreno do tamanho de 1.500 campos de futebol (SOLENERG, 2017).

Já a Figura 2.18 a seguir, mostra a primeira usina solar do Brasil localizada no Ceará, mais precisamente em Tauá. Foi inaugurada em 2011, segundo ENOVA a usina tem capacidade de abastecimento para suprir 1.500 residências e capacidade de gerar 1 megawatt.



Figura 2.18 - Primeira usina solar do Brasil localizada no Ceará.
Fonte: ENOVA (2018).

Outra edificação com uso de energia solar no Brasil que merece destaque é o Estádio do Mineirão, mostrado na Figura 2.19. Local que sedia muitos eventos esportivos, e que inclusive já foi sede de jogos oficiais na Copa do Mundo de 2014, e que concentra painéis fotovoltaicos gerando energia fotovoltaica.



Figura 2.19 - Estádio do Mineirão e seus painéis fotovoltaicos.
Fonte: ENOVA (2018).

O estádio do Mineirão, conforme apresentado na figura anterior 2.19, funciona com cerca de 6 mil painéis e gera o equivalente ao consumo médio de 1.200 residências,

segundo dados da Cemig, concessionária de energia em MG. A adequação foi feita antes da Copa do Mundo.

Também reformado para a Copa do Mundo, a Fonte Nova, apresentada na Figura 2.20 a seguir em Salvador, instalou um sistema com capacidade para gerar 750 MWh por ano – o equivalente ao consumo médio de 3 mil brasileiros ou ao que é necessário para abastecer 625 residências baianas conforme Figura 2.20.



Figura 2.20 - Estádio Fonte Nova em Salvador.
Fonte: ENOVA (2018).

Apesar de não ter sido sede dos jogos da Copa do Mundo de 2014, o Pituaçu, também em Salvador, aparece como outro local que gera sua própria energia. Foram investidos R\$ 5,5 milhões. A usina da praça esportiva já produziu 600 megawatts/hora (MWh) ao ano, energia necessária para abastecer 540 residências baianas com consumo médio. Uma economia de R\$ 161 mil por ano apresentado na Figura 2.21 (ENOVA, 2018).



Figura 2.21 - Estádio Pituáçu em Salvador.
Fonte: ENOVA (2018).

Mais um estádio que utiliza painéis, é a Arena Pernambuco na Figura 2.22: Primeira usina solar naquele Estado, o sistema tem capacidade para gerar 1.500 megawatts/hora por ano, o suficiente para sanar o consumo de seis mil pessoas. A Usina Solar São Lourenço da Mata, cidade onde fica o estádio, é responsável por até 30% da energia consumida pelo estádio, que sediou jogos da Copa do Mundo em 2014. O sistema é composto por 3.652 painéis solares fotovoltaicos. O investimento para a construção da usina foi de R\$ 10 milhões.



Figura 2.22 - Usina solar em Pernambuco.
Fonte: ENOVA (2018).

2.1.11 Hospital BOS e Hospital Ana Nery

Importante exemplificar, no país, modelos de hospitais que já fazem uso de energia limpa, assim nos parágrafos seguintes duas importantes edificações merecem destaque e corroboram a importância do uso dos painéis fotovoltaicos no âmbito das edificações hospitalares.

O primeiro exemplo é o hospital Ana Nery em 2017 no Rio Grande do Sul, que possui painéis fotovoltaicos cujo o investimento foi de R\$1,2 mi referente a uma usina solar que se propõe a reduzir R\$100 mil mensais na conta de energia elétrica. Foram instalados 1.149 painéis de 330 Wp numa estrutura de 2,3 mil metros e com capacidade de produzir 372,45 kWp de energia (PORTAL GAZ, 2017).

Outro hospital que merece destaque é o Instituto Banco de Olhos que gera a própria energia através de painéis fotovoltaicos instalados em seu telhado desde março de 2018. Segundo Edil Vidal de Sousa (superintendente do BOS) o complexo todo hospitalar gastava R\$80 mil em energia e com a instalação da energia limpa proporcionou economia de R\$5 mil por mês. Os gastos na implantação segundo Luiz Cláudio Santos, responsável pelo projeto no BOS, foram gastos R\$300 mil na implantação entre projetos, custos com materiais e instalação (TV SOROCABA/SBT, 2018).

Assim, e diante dos empreendimentos aqui apresentados e analisando a significativa economia gerada pelo uso dos painéis fotovoltaicos, e na tentativa de se identificar a viabilidade de expansão da mesma forma de energia no objeto de estudo desta pesquisa, o trabalho prossegue no capítulo seguinte trazendo o estudo de caso do atual cenário do hospital Universitário do Maranhão.

CAPÍTULO 3

ESTUDO DE CASO: CENÁRIO ATUAL DO HUUFMA

O referido hospital, localiza-se em São Luís-MA, conforme Portaria do MEC/MS nº. 1.000 de 15 de abril é um centro de ensino e de pesquisa para a formação de profissionais da área de saúde e outras áreas correlatas. O HUUFMA é formado por duas grandes unidades hospitalares: Presidente Dutra e Materno Infantil. Possui 573 leitos, sendo 77 de UTI (Neonatal, Adulto e Pediátrica), além de 16 salas de cirurgias. A unidade Materno Infantil, localizada em São Luís, foi cedida para uso da instituição em 19 de janeiro de 1991, embora sua inauguração seja anterior, em 05 de agosto de 1984.

É incontestável a relevância do HUUFMA no Estado do Maranhão na medida em que a efetiva prestação de serviços de saúde e ensino figuram como referência. Destaca-se sua natureza pública e atendimento pelo SUS, e ainda não se pode deixar de mencionar suas premiações de melhor organização pública do Maranhão em 2012, tendo recebido os troféus Adesa Ouro (melhor organização pública); Gestão Ouro (melhor líder público); e CGI Bronze (terceiro melhor Comitê Gestor Interno - Programa Gespública / Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, segundo informações do portal EBSEH, 2018).

Diante desse contexto, onde é possível destacar significativa representação institucional deste órgão público no Estado, o HUUFMA inovou no tocante à gestão hospitalar, tanto que no ano de 2016 (SILVA, 2016), manifestando compromisso com práticas sustentáveis de geração de energia, onde teve início a instalação de 80 (oitenta) painéis fotovoltaicos no Bloco G (Engenharia mais Tecnologia da Informação).

Conforme se depreenderá da análise dos dados trazidos no item seguinte referente às contas de energia do órgão, o total de energia consumido mensal e anualmente e ainda os resultados obtidos na geração do sistema fotovoltaico já instalado em apenas um dos blocos do hospital, num total de 7 (sete), será possível melhor compreender o cenário atual e assim realizar o estudo de viabilidade de ampliação do sistema fotovoltaico nos demais blocos do hospital, assim como a real eficácia e custo-benefício da tecnologia se instalada em sua totalidade.

3.1 - ESTUDO DE CASO FOTOVOLTAICO

Hospitais são edificações que necessitam abastecimento de água e energia elétrica ininterruptamente, centros cirúrgicos, iluminação, preparo de refeições para pacientes e visitantes, lavanderias provendo roupas limpas para profissionais e pacientes. São locais que demandam tais suprimentos e que por isso as redes distribuidoras de energia devem evitar interrupções, uma vez que o que está em jogo é o tratamento de vidas.

O consumo de energia elétrica do HUUFMA é feito pela CEMAR e geradores de *backup*, mas os gastos são elevados se considerarmos o ano todo e como dito anteriormente, uma alternativa que ainda está em teste foi implementar painéis fotovoltaicos no telhado do Bloco da Engenharia (G) para analisar a viabilidade de tal sistema e posteriormente no restante do complexo hospitalar (ao todo são 7 blocos).

A seguir são apresentados a Tabela 3.1 com histórico de consumo de energia do hospital bem como um gráfico para melhor visualizar os dados na Figura 3.1:

Tabela 3.1 - Dados do consumo de energia do HUUFMA.

Competência/Ano	Consumo (kWh)	Custo (R\$)
06/2018	16.870	11.665,41
05/2018	14.481	10.371,59
04/2018	16.769	11.089,37
03/2018	14.290,	9.307,16
02/2018	15.192	9.561,48
01/2018	15.080	11.102,03
12/2017	17.534	11.641,73
11/2017	17.095	13.398,04
10/2017	17.069	12.848,49
09/2017	17.662	12.541,76
08/2017	16.089	11.892,31
07/2017	15.422	10.993,79

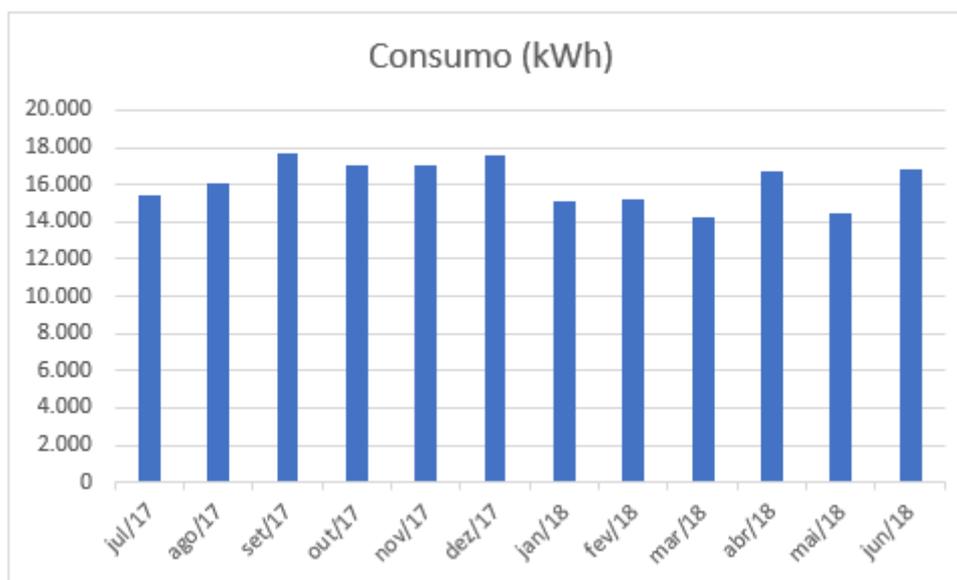


Figura 3.1 - Gráfico com os doze últimos consumos de energia do HUUFMA.

A partir da Figura 3.1 afixa-se que os meses de maior consumo foi setembro de 2017 e dezembro do mesmo ano, já os meses com menor consumo foi março de 2018. A diferença maior encontrada foi entre o mês de setembro de 2017 e o março de 2018 isso porque nesse mês não havia cobrança adicional de energia (tarifação normal), ao contrário dos demais meses que tiveram adicional de bandeira amarela ou vermelha.

O custo de implantação de FV no Bloco G foi de R\$145.000,00, o custo total de energia conforme a Tabela 3.1 foi de R\$136.413,16, isso quer dizer que o custo com a implantação é 6,29 % a mais que o total de energia gasto no período analisado, em outras palavras, R\$8.587,00 a mais.

Essas tarifações extras nessas cores foram implementadas no país desde o ano de 2015 indicando se haverá acréscimo ou não de energia e apresentam as seguintes características quanto a geração de energia:

Verde: condições favoráveis de geração de energia, sem acréscimo.

Amarela: condições menos favoráveis de energia, acréscimo de R\$0,010 para cada kWh consumido (ANEEL, 2018).

Vermelha: condições custosas de geração de energia, acréscimo de R\$0,030 para kWh consumido (ANEEL, 2018).

O ano de 2016 não foi citado pois a análise de consumo leva em consideração os doze últimos consumos e no mês de junho desse mesmo ano foi implantado os painéis FV o que não se vê no gráfico da Figura 3.1.

Considerando a área do hospital, no mês de junho de 2016, no qual funcionava 7

(sete) blocos, estrutura essa que se mantém até o presente ano, é importante destacar que em apenas um dos blocos, o que funciona o setor de engenharia, foi instalado o sistema fotovoltaico, ou seja, uma área reduzida ao se levar em conta a sua totalidade.

No telhado do Bloco G foram instalados 80 painéis de silício policristalino da Canadian Solar, o local possuía área suficiente que atendeu satisfatoriamente a instalação desses painéis de 265 W, conforme observa-se na Figura 3.2.

Segundo Relatório Técnico de Atendimento Sistema Fotovoltaico do Bloco G, e considerando 28 dias corridos, correspondente ao período de 08/06/2016 a 11/07/2016, constatou-se um potencial de energia injetada pelo sistema FV de 2.287 kWh, o que correspondeu, a época, a uma economia de R\$1.600,90 naquele mês. É importante destacar que o mês analisado não tivesse tanta chuva o percentual de atendimento teria potencial para alcançar índices acima de 50%! Assim obtendo-se o percentual de 36% do consumo daquele mês do Bloco G e uma economia de R\$19.210,80, se considerarmos o período de 1 (um) ano.

Considerando o período de julho/2017 a junho/2018, conforme é possível depreender da análise do gráfico anterior, a média de consumo de todo o HUUFMA é de 16.129,00 kWh por mês, o que corresponde ao valor médio mensal de R\$11.367,76 e R\$ 136.413,16 no ano todo.

Se considerarmos os números obtidos no relatório técnico de atendimento Sistema Fotovoltaico do Bloco G, o qual apurou que o FV, em média, supriu aproximadamente 37,5% do consumo de energia elétrica do Bloco G, produzindo 2.287 kWh e, sob essa perspectiva, lançarmos sob o quantitativo geral do hospital, apura-se que nos dias atuais, o sistema fotovoltaico é responsável por aproximadamente 15% (percentual) de produção energética de todo o hospital, o que corresponde ao valor mensal de R\$1.581,32, aproximadamente, e R\$18.975,88, ao ano.

Dessa forma, e analisando numa perspectiva futura, e tendo como referência a estrutura energética já existente no Bloco G, o estudo prossegue na demonstração de cálculo visando a complementação dos painéis solares e acessórios no restante dos 6 (seis) blocos, assim como o dimensionamento necessário para efetivação da expansão no órgão público:

1. Primeiro passo: analisar os 12 últimos consumos de energia do HUUFMA conforme Tabela 4 anterior;
2. Segundo passo: somar os doze últimos consumos e obter a média:

$$C_{\text{médio}} = 16.130,32 \text{ kWh}$$

3. Terceiro passo: obter o índice solarimétrico médio do local: 5,36 kWh/m².dia

Consumo médio HUUFMA= 16.130,32 kWh/mês, onde:
k=1000; W=Watts; h=horas e mês = 30 dias;

Dias mês considerados= 30 dias

Eficiência considerada no projeto fotovoltaico= 83% (LGL SOLAR, 2016).

4. Quarto passo: cálculos

$$16.130 \frac{kWh}{mês} = 16.130.000,00 \text{ Wh/mês}$$

$$\text{Consumo em dia} = \frac{16.130.000,00 \text{ h}}{30} \cong 537.666,67 \frac{Wh}{dia}$$

$$\text{Potência de placas necessária} = \frac{537.666,67}{5,36} = 100.310,94 \text{ watts}$$

$$\text{Assumindo eficiência de 83\%, tem-se} = \frac{100.310,94}{0,83} = 120.856,56$$

watts

$$\text{Quantidade de painéis (supondo painéis de 265 W)} = \frac{120.856,56}{265}$$

= 456 painéis

$$\text{Painéis/ bloco} = 76 \text{ painéis de 265 W.}$$

A partir dos cálculos acima, conforme parâmetros sugeridos por LGL SOLAR (2016), pode-se ver que a quantidade de painéis obtida é próxima dos já instalados no Bloco da Engenharia - 80 (oitenta), Assim, para eventuais quebras e pronta manutenção, ou em caso de insuficiência de funcionamento de uma célula, pode-se considerar, no que se refere à expansão dos painéis, 80 (oitenta) como uma quantia ideal para ser instalada, em cada bloco.

No próximo item para um estudo de viabilidade no que se refere à efetiva expansão dos painéis no restante do prédio público, considerando o cenário atual das reais necessidades das instalações do prédio, os possíveis custos da implementação da completude dos sistemas solar e orçamento que dispõe o hospital pra obras de engenharia e diversos.

A Figura 3.2 mostra oitenta painéis fotovoltaicos no Bloco G do HUUFMA.



Figura 3.2 - Oitenta painéis instalados no Bloco G no HUUFMA.
Fonte: NOBREGA (2016).

A Figura 3.3 destaca o Bloco G (em amarelo) e os demais blocos do HUUFMA.



Figura 3.3 - Destaque em amarelo o Bloco G com os painéis FV instalados e área disponível para possível expansão.

3.2 - CÉLULAS DE COMBUSTÍVEL E GERAÇÃO PRÓPRIA HUUFMA

Primeiramente, faz-se necessário pontuar que a instalação de células de combustível no HUUFMA depende de uma área equivalente a um container de 20 pés, ou seja, 16 m².

Conforme visita *in loco* em junho de 2018, foi possível constatar que o hospital possui áreas disponíveis em seu estacionamento, especialmente, em três áreas localizadas no prédio público, conforme a Figura 3.4:



Figura 3.4 - Áreas sugeridas para instalação de Células de Combustível.

Na Figura 3.4, tem-se 3 regiões em vermelho, estas áreas representam as sugestões de instalação das Células de Combustível no Hospital Universitário.

A área 1 possui aproximadamente 21,07 m², a área 2 25,29 m² e a área tem 17,81 m². Assim, conforme demonstrado na Figura 3.4, no que se refere ao espaço físico para instalações de possíveis células de combustível que alocase os equipamentos para geração de energia mediante uso de células de combustíveis e as áreas rachuradas em vermelho, é possível concluir que as instalações externas do hospital se apresentam adequadas as possíveis instalações de Células de Combustível.

CAPÍTULO 4

ESTUDO DE VIABILIDADE

4.1 - ESTUDO DE VIABILIDADE DE UMA FONTE COGERADORA PARA O HUUFMA

A partir desse momento, serão discutidas as viabilidades de se instalar painéis fotovoltaicos nos outros 6 blocos restantes do hospital universitário ou se instalar células de combustíveis. Faz se necessário esse estudo uma vez que envolve recursos financeiros, e estes proveem do governo federal, além disso, é uma ferramenta muito utilizada independentemente de qualquer negócio.

Para SANTOS (2011) esta ferramenta permite analisar produtos e serviços, rentabilidade real, avalia o mercado e potencialidades do negócio. Um dos focos principais é a gestão de custo, requisito essencial para a manutenção de uma empresa, pois, o lucro real nem sempre está presente na realidade das organizações (SANTOS, 2011).

4.1.1 - Estudo da viabilidade econômica para ampliação de energia Fotovoltaica no HUUFMA

O custo para se instalar um SFCR é composto por: módulos, inversor, os demais elementos do sistema (cabos, proteção, chicotes elétricos e a estrutura de sustentação) e os serviços de instalação (RIBEIRO, 2012).

Neste item, será analisado o custo das instalações do sistema SFCR, em 2016, no bloco G do HUUFMA, a economia obtida pelo órgão após o uso da energia limpa, o orçamento disponível para custeio do hospital, tendo como referência o ano de 2018 e análise de propostas de empresas que atuam no mercado de energia solar em São Luís-MA.

Com relação aos custos de implantação de painéis solares e acessórios no Bloco da Engenharia em 2016, apurou-se, de acordo com o Pregão Eletrônico (RP SIDEC 029 / 2018) PROCESSO 23523.006241/2017-15 (Proc. 0370/2017-00 HUUFMA), a obra foi executada por R\$145.000,00 (Cento e Quarenta e Cinco mil Reais) pela empresa ENOVA ENERGIA que venceu na modalidade menor preço e forneceu todos

equipamentos e mão de obra na instalação dos painéis fotovoltaicos. Ressalte-se que naquele ano, o orçamento disponível para gastos do órgão era de R\$686,1 mi.

Assim, foi possível constatar que a instalação da energia limpa nesse prédio correspondeu a menos de 1% dos recursos disponíveis para o ano de 2016, assim, apresentou-se, portanto, como um gasto bem razoável, dentro dos princípios da economicidade ao qual todo órgão público está vinculado.

Destaca-se, ainda, que conforme informações do portal de notícias EBSERH, 2016, desde aquele ano, o sistema já apresentava uma produção diária de aproximadamente 80 a 120kw/h, que no final do mês corresponde a 50% de consumo da energia elétrica do prédio, assim o retorno do investimento será a médio prazo.

Neste diapasão, e levando-se em conta o valor correspondente às instalações em 2016, uma possível expansão dos painéis nos demais blocos seria no valor de R\$503.626,59, tendo como escopo a instalação de 375(trezentos e setenta e cinco) painéis de 335Wp, sendo 62 (sessenta e dois) em cada bloco, a ser executada no período de 60 dias, isso dependendo das condições climáticas e das condições do telhado. Ou seja, se estiver chovendo os funcionários da empresa são proibidos de acessar a área das instalações e de adicionar o prazo de 30 (trinta) dias para aprovação da CEMAR (Companhia Energética do Maranhão).

Analisando a figura 3.3 verifica-se que o HUUFMA possui espaços generosos na parte superior de cada bloco, o que atenderia satisfatoriamente o prédio público caso fossem instalados painéis FV em todos eles, conforme ambas as propostas expostas.

A seguir segue um demonstrativo de cálculo dos custos de energia x valor da obra x tempo de retorno do investimento.

Custos com energia por bloco:

$$\frac{R\$136.413,16}{7} = R\$19.487/\text{bloco}$$

$$\frac{R\$19.487}{12} = R\$1.623,96/\text{mês}$$

$$\frac{R\$503.626,59}{R\$19.487} = 25,84 \text{ anos}$$

A partir dos cálculos acima, percebe-se que em aproximadamente 26 anos, o investimento com a implantação completa do sistema FV seria totalmente recuperado, na medida em que as contas do hospital se reduziriam a taxas da concessionária e demais tarifas. A princípio, o prazo pode parecer extenso, mas a implementação aconteceria de forma escalonada sendo que tanto o prazo quanto o total investido seriam gradativos e flexíveis. O hospital teria uma energia limpa, de pouca manutenção

segundo afirmam fabricantes e fornecedores de equipamentos solares, sendo inesgotável a produção de energia proveniente dos raios solares incidentes nos painéis fotovoltaicos.

Importante salientar que um painel FV segundo PORTAL SOLAR (2018b) tem vida útil aproximadamente de 25 anos, dessa forma, a partir dos cálculos acima, constata-se que, em aproximadamente nesse período, o HUUFMA já teria sanado todo o investimento de implantação dos blocos, configurando-se, assim, o retorno do investimento como de médio-longo prazo (PORTAL SOLAR, 2018b).

4.1.2 - Estudo da viabilidade econômica para implantação do uso de células de combustíveis no HUUFMA

Como vimos no Capítulo 2, as células de combustível ganham cada vez mais espaço no Brasil e a tecnologia SOFC (óxido sólido) seria bastante interessante no país uma vez que utiliza o hidrogênio mais o CO como combustível e temos um grande potencial hidroenergético.

A instalação para o uso de células de combustível demanda um espaço equivalente a um *container* de aproximadamente 16 m² considerando um de 20 pés. (PRIMEXCONTAINERS, 2018).

Na tentativa de se analisar a viabilidade de implementação do uso desta fonte de energia, traz-se nas próximas linhas um exemplo de sua aplicação em um hospital paranaense: trata-se do Hospital Erasto Gaertner localizado em Curitiba, referência no tratamento de câncer.

Durante anos naquele hospital era utilizada caldeira movida a óleo de xisto para esquentar a água. No entanto, a vizinhança sofria de um grande mal: a poluição. A partir de uma denúncia feita por um morador dessa região em 1996 queixando-se da fuligem, o hospital quase fechou e despertou-se o primeiro interesse em usar uma energia limpa e não poluidora.

Após provocação do Ministério Público, a direção do hospital percebeu a real necessidade de ser implementada uma nova fonte de energia e a solução estava mais perto do que se imaginava, dentro do próprio hospital, que utilizava o hidrogênio. Em 2001, a primeira célula de combustível foi instalada para geração de energia do prédio e custou na época, R\$2 milhões para sua instalação.

Os resultados obtidos foram satisfatórios, eliminando-se quase em sua totalidade a geração de ruído que tanto incomodava a vizinhança (GLOBO.COM, 2010). As

células de combustível podem ser comparadas a geradores de energia, primeiro por que têm a finalidade de suprir as necessidades energéticas de um local, segundo porque precisam de um combustível para funcionar. As primeiras, no caso da SOFC, usam por exemplo gás natural e a segunda, óleo diesel, ambas ocupam um espaço próxima da edificação.

Considerando o Hospital Erasto Gaertner como exemplo que obteve sucesso ao instalar Células de Combustível nos anos de 2001 a 2003, cujo consumo médio foi de 93.780 kWh no período de maio de 2001 a abril de 2002, onde se utilizou 3 (três) células de combustível de 200 kW conforme CASTILHO *et al.* (2004), este será utilizado como modelo para as estimativas de uso de célula de combustível no HUUFMA.

Assim, a partir dos parâmetros dos parágrafos anteriores, pode-se fazer uma estimativa da quantidade de células de combustível para o hospital universitário maranhense. O HUUFMA teve um consumo médio de 16.129 kWh durante o mesmo período que o hospital paranaense, compreendendo 1 (um) ano, mais precisamente entre julho de 2017 a junho de 2018. Dessa forma, caso se instalasse o sistema no hospital maranhense, seria necessário 1(uma) célula de combustível de 70 kW para abastecer todos os blocos do Hospital. Isso porque o hospital maranhense possui consumo aproximadamente 6 (seis) vezes menor que o hospital curitibano.

4.2 - ECONOMIA DE ENERGIA

Independente da fonte de energia mais viável a ser implementada no HUUFMA, é importante destacar algumas diretrizes que atreladas a uma fonte de energia limpa trará melhores resultados:

- Utilizar lâmpadas LED no lugar fluorescentes e incandescentes;
- Usar conscientemente ar condicionado, isto é, quando não tiver pessoas no ambiente, desligar o equipamento, assim o gasto com energia elétrica diminui consideravelmente. Vale destacar que esses equipamentos precisam ter o selo de Economia de Energia, é o Selo Procel que apresenta os tipos de consumo para cada equipamento não só para ar condicionado (IZABEL, 2018);
- Analisar se as fases da edificação estão balanceadas: um desbalanceamento poderá provocar superaquecimento dos cabos e a vida útil dos aparelhos diminuirá (IZABEL, 2018);

- Colocar avisos em paredes: os funcionários do HUUFMA agirão de forma consciente quanto ao uso de aparelhos, como desligar quando não estiver usando;
- Não deixar carregadores na tomada enquanto não estão sendo utilizados; (PANORAMOPositivo, 2017);
- Criar rotinas para manutenção de equipamentos;
- Aproveitar a ventilação natural ao invés de usar ventiladores e ar condicionado o tempo todo;
- Instalar sensores de presença para detectar presença ou ausência de pessoas, assim a lâmpada acenderá ou desligará conforme a movimentação de pessoas no local;
- Profissionais que usam computadores desligar totalmente, modos como “hibernar” e “suspende” economizam, mas não mais que desligar o aparelho por completo;
- Recirculação interna de água (ABREU e CASTRO, 2015);
- Devolver água para a natureza (ABREU e CASTRO, 2015).

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

5.1 - CONCLUSÕES

A análise do estudo de viabilidade econômica demonstrada no capítulo 4, permite concluir que, no Hospital Universitário da UFMA, há plena viabilidade de expansão das instalações dos painéis fotovoltaicos e de uso das Células de Combustível pelos fatores expostos nos parágrafos seguintes.

Conforme apontaram os dados coletados, os custos mensais de Energia do Hospital Universitário da Universidade Federal do Maranhão nos últimos meses - do período de julho/2017 a junho/2018, foi de 16.129,00 kWh por mês, o que corresponde ao valor médio mensal de R\$11.367,76 e R\$ 136.413,16 no ano todo.

Após a análise dos custos de implementação e manutenção da tecnologia fotovoltaica já implementada, é possível perceber a total possibilidade e adequação da expansão dos painéis nos demais blocos do Hospital. A expansão seria em torno do valor de R\$503.626,59, tendo como escopo a instalação de 375 (trezentos e setenta e cinco) painéis de 335Wp, sendo 62 (sessenta e dois) em cada bloco, a ser executada no período de 60 dias, isso dependendo das condições climáticas e das condições do telhado.

Para o Hospital Universitário da UFMA ser autossuficiente em energia elétrica, seriam necessários 26 (vinte e seis) anos aproximadamente para o retorno completo dos investimentos aplicados em todos os blocos. Isso se a instalação ocorresse por completo simultaneamente em todos os blocos. Se a instalação ocorrer de forma gradativa, ou seja, a cada dois blocos, o tempo de investimento reduz consideravelmente.

Avaliando o impacto econômico em relação ao orçamento geral e analisando a instalação solar foi possível perceber que o orçamento disponível para gastos do órgão era de R\$686,1 mi no ano de 2016, e a instalação dos painéis no Bloco G foi executada por R\$145.000,00 o que correspondeu a aproximadamente 0,02% do total do orçamento daquele ano.

No caso da expansão do uso da energia solar nos demais blocos, cujo valor de referência da instalação gira em torno de R\$503 mil, e considerando que o orçamento do ano de 2018 é de R\$741,2 mi, o novo investimento revela-se plenamente adequado

ao plano orçamentário do hospital, uma vez que as novas ampliações seriam feitas de forma escalonada, como sugere o processo de licitação ainda em tramite para os outros 2 (dois) blocos.

Assim, se as instalações prosseguissem neste ritmo de instalação, ou seja, a cada 2 (dois) blocos por ano, o impacto econômico da fonte cogeneradora no orçamento anual giraria em torno de **0,067%**, ao se considerar o valor geral da proposta dividido pelo número de blocos que possui capacidade de expansão. O que permite auferir a plena viabilidade da expansão solar para o HUUFMA e nessa direção vem caminhando o complexo hospitalar maranhense que já sinalizou interesse nos planos de expansão na medida em que está em andamento o processo de licitação do projeto de 2 (dois) blocos, como já mencionado.

No que tange às avaliações das tecnologias disponíveis no que diz respeito confiabilidade, manutenção e desenvolvimento tecnológico, a energia solar já implementada no Bloco G do HUUFMA, é limpa, quase sem ruído, experimentada nacionalmente, de pouca manutenção e mundialmente conhecida. E essa mesma tecnologia que seria empregada no caso da proposta de expansão para os demais blocos.

No que se refere às células de combustível ainda é uma tecnologia nova, possui poucos profissionais com conhecimento e utiliza metais nobres como platina, elevado custo atual se comparado às fontes de energia convencionais.

O percurso investigativo deste trabalho dissertativo indicou que os custos para implementar células de combustível não se pôde precisar com exatidão, entretanto foi feita uma estimativa com base no Hospital Erasto Gaertner onde foram instaladas 3 células de combustível no valor de R\$2.000.000,00.

No caso da instalação de células de combustível no hospital maranhense, estima-se, com base no exemplo anterior, 1(uma) célula de combustível de 70 kW para abastecer todos os blocos do Hospital. Não se pode precisar com exatidão o valor da instalação de uma célula no complexo maranhense, pois inúmeros fatores devem ser considerados como a diferença da região, o que implica em custos de mão-de-obra diferenciada, e também o lapso temporal na medida em que o implemento das células em Curitiba ocorreu no ano de 2001.

As medidas/ ações socioeducativas para economia de energia no Hospital Universitário independem da energia alternativa adotada uma vez que medidas simples como utilizar lâmpadas LED no lugar das antigas fluorescentes, apagar luzes e desligar aparelhos de ar condicionado ao deixar sala. Outras medidas: Analisar se as fases da

edificação estão balanceadas: um desbalanceamento poderá provocar superaquecimento dos cabos e a vida útil dos aparelhos diminuirá (IZABEL, 2018).

- Colocar avisos em paredes: os funcionários do HUUFMA agirão de forma consciente quanto ao uso de aparelhos, como desligar quando não estiver usando;
- Não deixar carregadores na tomada enquanto não estão sendo utilizados; (PANORAMAPOSITIVO, 2017);
- Criar rotinas para manutenção de equipamentos;
- Aproveitar a ventilação natural ao invés de usar ventiladores e ar condicionado o tempo todo;
- Instalar sensores de presença para detectar presença ou ausência de pessoas, assim a lâmpada acenderá ou desligará conforme a movimentação de pessoas no local;
- Profissionais que usam computadores desligar totalmente, modos como “hibernar” e “suspender” economizam, mas não mais que desligar o aparelho por completo.

Há plena viabilidade de expansão das instalações dos painéis fotovoltaicos pelos seguintes fatores:

- Telhados com áreas propícias para instalação de painéis FV;
- Não poluem;
- Já está implantada com êxito no Bloco da Engenharia com Tecnologia da Informação (G), obtendo-se resultados expressivos no que se refere à economia de energia;
- Fácil manutenção;
- Sol praticamente o ano todo na cidade de São Luís o que significa grande geração de energia anualmente;
- Células fotovoltaicas estão em plena expansão no Brasil;
- Aprovação da lei nº. 4.5326/2017 que incentiva o uso de energias renováveis no Brasil, com direcionamento para que os prédios públicos passem a utilizar energia solar como principal fonte de funcionamento em suas instalações e dá incentivo fiscal para implantação de coletores ou painéis solares para aquecimento de água em edificações públicas e privadas;
- No HUUFMA já se encontra aberto processo licitatório para expansão de mais 80(oitenta) painéis e demais equipamentos em outros 2 (dois) blocos do

Hospital: do Centro de Oftalmologia e o Instituto de Fígado;

- O HUUFMA, levando-se em conta tanto a proposta da Enova Energia, quanto a da Solar Engenharia, empresas com atuações expressivas no mercado local, teria orçamento suficiente para conclusão da expansão de painéis FV e acessórios nos outros 6 (seis) blocos.

No que se refere à implantação de células de combustível no HUUFMA, viu-se que embora não haja dados concretos para análise de custo-benefício da tecnologia a ser instalada no hospital em virtude da própria falta de referência de parâmetros iguais à estrutura do prédio em estudo, à princípio, caso haja um estudo mais aprofundado pela direção do hospital, pode-se afirmar que parece viável sua implantação devido aos seguintes fatores:

- As áreas para instalação de Células de Combustível ocupam área igual ou superior a um *container* de 20 pés em cada local sugerido;
- A água gerada pelas células de combustível pode ser aproveitada para uso de proveito próprio do hospital;
- Não polui;
- Não gera ruídos;
- Células de combustível são semelhantes a geradores de energia: são equipamentos estacionários, não possuem partes móveis, precisam de um fluido para funcionar. O fluido nos geradores de energia pode ser o óleo diesel e as células SOFC como vimos ideais para o HUUFMA podem ser abastecidas;
- As células de combustível podem co-gerar calor, isso quer dizer que além de gerar eletricidade, possui capacidade de produzir vapor de água quente;
- As emissões de uma central elétrica de células de combustível são cerca de dez vezes menos que as normativas ambientais mais restritas. Para além disso, as células de combustível produzem um nível muito inferior de dióxido de carbono; (VANTAGENS, 2016);
- Conforme OLIVEIRA (2007) as células tipo óxido sólido (SOFC) são apontadas como um gerador de eletricidade de grande porte para o futuro, sendo capaz de produzir energia em até dezenas de megawatts (MW) o que atenderia com folga o hospital por se tratar de uma unidade estacionária;
- A utilização de células do tipo SOFC pode ser interessante para o HUUFMA uma vez que dispensa a utilização de catalisadores à base de materiais nobres

e de alto custo, além de permitir o processamento direto do combustível no interior da própria célula (reforma interna); (LOPES, 1999);

- As células tipo óxido sólido pode utilizar como combustíveis: gás natural, biogás e etanol. O gás natural pode ser utilizado em aplicações como aquecimento de água e cocção (ação de calor) de alimentos no HUUFMA.

5.2 - SUGESTÕES

O presente trabalho não esgota a pesquisa sobre o tema, uma vez que é necessário um estudo de viabilidade mais aprofundando para a implementação das Células de Combustível e sua quantidade ideal para suprir a demanda energética do HUUFMA. Elementos como consumo médio de energia elétrica são preponderantes nessa análise, no entanto seria necessário analisar o consumo de água quente, gases como nitrogênio, oxigênio, gás natural e óleo diesel que se constituem como matérias primas essenciais para o bom funcionamento de um hospital que se utiliza das células de combustíveis como principal fonte de energia.

Há de considerar também a “novidade” que essa tecnologia representa e a própria escassez de mão de obra especializada, assim como o diminuto número de fabricantes, no país, dos componentes de célula de combustível, ao contrário do cenário mais favorável em que se encontra a possível expansão do sistema fotovoltaico no órgão público objeto deste estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, D., CASTRO, D. **7 formas de reduzir o consumo de água em uma empresa.** 2015. Disponível em: <<http://www.portaldaindustria.com.br/agenciacni/noticias/2015/11/7-formas-de-reduzir-o-consumo-de-agua-em-uma-empresa/>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

AGENEAL. **Energias não renováveis.** Disponível em: <<http://www.ageneal.pt/content01.asp?BTreeID=00/01&treeID=00/01&newsID=7>>. Acesso em: 28 set. 2018.

ALDABO, R. Energia Eólica. **Sua Pesquisa.com**, 2018. Disponível em: <https://www.suapesquisa.com/energia/parques_eolicos_brasil.htm>. Acesso em 10 out. 2017.

ALMEIDA, F. B. O Princípio de Funcionamento de uma Usina Hidrelétrica. Brasil Escola, 2017. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/fisica/o-principio-funcionamento-uma-usina-hidreletrica.htm>>. Acesso em 10 out. 2017.

ANEEL. **Bandeiras Tarifárias.** 2018. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br/bandeiras-tarifarias>>. Acesso em: 15 nov.2017.

BOYLESTAD, L. R., NASHELSKY, L. **Dispositivos Eletrônicos e Teoria de Circuitos.** 11a ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2013.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Anuário Estatístico de Energia Elétrica 2017 ano base 2016.** Brasília (DF), 2017. Disponível em: <<http://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-160/topico-168/Anuario2017vf.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2018.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Boletim Mensal de Energia 2017.** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/7994286/Boletim+Mensal+de+Energia+jan+2017.pdf/f9f255a3-7c0e-491d-8f6a-672907692b77>>. Acesso em: 28 set. 2018.

_____. Ministério de Minas e Energia. **Capacidade Instalada de Geração Elétrica Brasil e Mundo (2014).** Disponível em: <<http://www.mme.gov.br/documents/1138787/7994286/Boletim+Mensal+de+Energia+jan+2017.pdf/f9f255a3-7c0e-491d-8f6a-672907692b77>>. Acesso em: 28 set. 2018.

_____. Câmara dos Deputados. **Comissão aprova isenção para painéis solares e uso obrigatório em prédios públicos novos.** Brasília, 2017b. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/camaranoticias/noticias/MEIO-AMBIENTE/550214-COMISSAO-APROVA-ISENCAO-PARA-PAINES-SOLARES-E-USO-OBRIGATORIO-EM-PREDIOS-PUBLICOS-NOVOS.html>>.

CAPRIGLIONE, P. S. **A Energia Renovável na Matriz Energética Brasileira.** Fundação Getúlio Vargas, 2006.

CASTILHO, A. L., GIANESINI, M. A., RODRIGUES, R. **Estudo de caso da implantação da célula a combustível no hospital Erasto Gaertner.** 2004. 120 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Industrial Elétrica – Ênfase em Eletrotécnica)- Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, 2004.

CONHECIMENTOGERAL. **Czochralski.** 2016. Disponível em: <<https://www.conhecimentogeral.inf.br/czochralski/>>. Acesso em: 28 set. 2018.

COPPEUFRJ. **Ônibus Híbrido à Hidrogênio.** 2018a. Disponível em: <<http://www.coppe.ufrj.br/pt-br/a-coppe/coppe-produtos/onibus-hibrido-a-hidrogenio>>. Acesso em: 02 jun. 2018.

_____. **Ônibus Híbrido Elétrico-Hidrogênio.** Laboratório de Hidrogênio. Disponível em: <http://revistamineracao.com.br/2018/05/18/alunos-da-ufrj-criam-onibus-movido-etanol-e-eletricidade/17052018_tecnologia_alunos-da-ufrj-criam-projeto-de-onibus-movido-a-etanol-e-eletricidade/>. Acesso em: 01 jun. 2018.

DI SOUZA, Ronilson. Projeto de Energia Solar Residencial: o Passo a Passo De Como Adquirir Seu Painel Solar Residencial e Deixar de Pagar Caro Pela Energia Que Consome. **Blue Sol – Energia Solar,** 2017. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/fontes-energia-1.htm>>. Acesso em: 28 set. 2018.

ENOVA. Conheça os estádios de futebol brasileiros que utilizam energia solar. **Enova,** 2018. Disponível em: <<http://www.enovaenergia.com.br/blog/post/conheca-os-estadios-de-futebol-brasileiros-que-utilizam-energia-solar>>. Acesso em: 28 set. 2018.

FRANCISCO, W.C. Fontes de Energia. **Mundo educação,** 2018. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/geografia/fontes-energia-1.htm>>. Acesso em: 22 maio 2018.

FUNCIONAMENTO de painéis fotovoltaicos. 2011. Disponível em: <<http://www.paineisfotovoltaicos.com/funcionamento.php>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

GLOBO.COM. Hospital do Paraná usa célula a combustível para gerar energia: A tecnologia pode gerar energia para alimentar cerca de 200 casas pequenas. É uma solução que não polui. 2010. Disponível em: <<http://g1.globo.com/bom-dia-brasil/noticia/2010/08/hospital-do-parana-usa-celula-combustivel-para-gerar-energia.html>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

HOFFMANN, E. G. N. Hidrogênio Evoluir sem Poluir: a era do hidrogênio, das energias renováveis e das células a combustível. Curitiba: BRASIL H2 FUEL CELL ENERGY, 2005.

ITAIPU BINACIONAL. Características da barragem. Disponível em: <<https://www.itaipu.gov.br/energia/caracteristicas-da-barragem>> Acesso em: 06.jun.2018

IZABEL, D. Como reduzir custos com energia elétrica em pequenas e médias empresas. Disponível em: <<http://fluxoconsultoria.poli.ufrj.br/blog/arquitetura-construcao/como-reduzir-custos-com-energia-eletrica-empresa/>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

LGL SOLAR. Curso integrador e instalador 4 dias energia solar fotovoltaica. LGL SOLAR, 2016. Apostila completa.

LOPES, R. P. Célula Combustível. 1999. ed. Viçosa: [s.n.], 1999. 28 p.

MARANHÃO PARA TODOS. Governo acompanha instalação de aerogeradores em parque eólico na região dos Lençóis Maranhenses. 2017. Disponível em: <<http://www.ma.gov.br/agenciadenoticias/desenvolvimento/governo-acompanha-instalacao-de-aerogeradores-em-parque-eolico-na-regiao-dos-lencois-maranhenses>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

MUSEU VIRTUAL TUCURUI. Home. Disponível em: <<http://www.museuvirtualtucurui.com.br/>>. Acesso em: 30 set. 2018.

NOVACANA. Nissan revela veículo elétrico movido a célula de combustível de Etanol. 04 de agosto de 2016. Disponível em: <<https://www.novacana.com/n/combate/carro-eletrico/nissan-veiculo-eletrico-celula-combustivel-etanol-040816/>>. Acesso em 01 jun. 2018.

OLIVEIRA, M. **Avanços na célula a combustível:** Ipen desenvolve equipamento que gera energia elétrica com etanol. 2007. Disponível em: <http://revistapesquisa.fapesp.br/2007/01/01/avancos-na-celula-a-combustivel/>. Acesso em: 20 jun.2018.

OLIVEIRA, H. E. **Tecnologia fotovoltaica em filmes finos (películas delgadas).** 2008. Monografia (Especialização Formas Alternativas de Energia) - Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2008.

OLIVEIRA, A. **A outra História de ITAIPU:** artigo especial do diplomata artur oliveira que trata dos acordos diplomáticos e a análise geopolítica. 2012. Disponível em: <http://www.defesanet.com.br/geopolitica/noticia/5648/A-outra-Historia-de-ITAIPU>>. Acesso em: 29 set. 2018.

ÔMEGA ENERGIA. **Omega Energia investe no primeiro parque eólico do Maranhão.** 2016. Disponível em: <http://www.omegaenergia.com.br/noticias/omega-energia-investe-no-primeiro-parque-eolico-do-maranhao/>>. Acesso em: 29 set. 2018.

PACIEVITCH, T. **Itaipu Binacional.** Disponível em: <https://www.infoescola.com/geografia/itaipu-binacional/>>. Acesso em: 04 jun. 2018.

PANORAMAPOSITIVO. **Infraestrutura:** descubra como reduzir o consumo de energia em grandes empresas. 2017. Disponível em: <https://www.meupositivo.com.br/panoramapositivo/consumo-de-energia-em-grandes-empresas/>>. Acesso em: 19 jun. 2018.

PLANETA ARROZ. Energia que vem de casa: derivado evolui de lixo a fonte de energia. **Planeta Arroz**, ed. 9, ago., 2006. Disponível em: <https://www.planetaarroz.com.br/noticias/8663/Energia%20que%20vem%20da%20casa>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

PORTAL ECYCLE. **Aquecimento solar de água: entenda variações e funcionalidades dos tipos de sistema.** 2013. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/component/content/article/69-energia/3510-sistema-solar-fotovoltaico-aquecimento-agua-banho-poupanca-energetica-como-funciona-isolante-gas-eletrico-componentes-diferencas-coletores-fechados-abertos-tubulares-vacuo-instalacao-consumo-meio-ambiente-impactos-ambientais-emissoes.html>>. Acesso em: 15 nov. 2017.

PORTAL GAZ. **Ana Nery implanta maior usina de energia solar em hospital do Brasil:** Sistema de energia limpa e renovável gerará economia, pois irá reduzir em 25% o valor das contas de luz. 2017. Disponível em:

<http://www.gaz.com.br/conteudos/regional/2017/10/25/105959-ana_nery_implanta_maior_usina_de_energia_solar_em_hospital_do_brasil.html.php>. Acesso em: 06 out. 2018.

PORTAL SOLAR. **Como funciona o painel solar fotovoltaico – placas fotovoltaicas.** 2018a. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/como-funciona-o-painel-solar-fotovoltaico.html>>. Acesso em: 17 nov. 2017.

_____. **O que é Célula Fotovoltaica?** 2018b. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/celula-fotovoltaica.html>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

_____. **Energia Solar Residencial.** 2018c. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/energia-solar-residencial.html>>. Acesso em: 16 nov. 2017.

PRADO, F. M. R. F. **Energia eólica.** Trabalho (Curso de Engenharia Civil) - Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral, 2010.

PRIMEXCONTAINERS. **Containers.** Disponível em: <<http://www.primexcontainers.com.br/containers-dry.asp>>. Acesso em: 14 jun. 2018.

RIBEIRO, U. G. V. **Estudo de Viabilidade Econômica de Instalação de Fontes de Energia Renováveis Baseadas em Células Fotovoltaicas Para o Uso Residencial.** 2012. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação) - Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2012.

RODRIGUES, R. A. **Célula de Hidrogênio: Construção, Aplicações e Benefícios.** *Revista Brasileira de Gestão e Engenharia RBGE*, n. 1, p. 47-62, 2010.

SANTOS, F. A. C. M., SANTOS, F. M. S. M. **Células de combustível.** *Spectrum*, 2004. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/70643080.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

SANTOS, W. **A importância do estudo de viabilidade econômica para as empresas.** 2011. Disponível em: <http://www.varginhaonline.com.br/coluna/exibe_artigo.asp?codigo=1535>. Acesso em: 20 jun. 2018.

SÃO PAULO. **Protótipo de Ônibus.** Disponível em: <<http://www.emtu.sp.gov.br/emtu/empreendimentos/projetos-de-desenvolvimento-tecnologico/onibus-a-hidrogenio/prototipo-de-onibus.fss>>. Acesso em: 01 jun. 2018.

SUAPESQUISA.COM. **Poluição por derramamento de Petróleo.** 2018. Disponível em: <https://www.suapesquisa.com/poluicaodaagua/derramamento_petroleo.htm>. Acesso em: 01 jun. 2018.

SCHUMM, B. **Fuel cell.** 2013. Disponível em: <<https://www.britannica.com/technology/fuel-cell>>. Acesso em: 02 out. 2017.

SERRA, F. C. **Implementação de Fontes de Energia Renovável em Meio Urbano - O Caso do Bairro da Portela de Sacavém.** Mestrado. Universidade Técnica de Lisboa, 2010.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL. **Semicondutores.** São Paulo: SENAI, 2011. 35p.

SILVA, M. V., BERMANN, C. O planejamento energético como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão sobre a oferta de energia na zona rural. *Anais...* Campinas: Unicamp / Nipe, 2002.

SILVA, V. M. M., BERMANN, C. **O planejamento energético como ferramenta de auxílio às tomadas de decisão sobre a oferta de energia na zona rural.** 1999. 8 p. Artigo (Pós Graduação em Energia) - Instituto de Energia e Ambiente, USP, São Paulo, 1999. Disponível em: <http://www.moretti.agrarias.ufpr.br/eletrificacao_rural/tc_07.pdf>. Acesso em: 28 set. 2018.

SILVA, N. F. **Fontes de Energia Renováveis Complementares na Expansão do Setor Elétrico Brasileiro: o caso da energia eólica** [Rio de Janeiro], 2006.

SILVA, F. S. F. **Relatório de entrega usina fotovoltaica HU-UFMA.** São Luís: E-Nova Instalação e Manutenção LTDA, 2016.

SOLENERG. **Conheça a maior usina de energia solar da América Latina, em Pirapora:** duando todo o conjunto estiver em operação, o complexo terá uma capacidade de 400 mV, que poderia fornecer energia para 420.000 casas durante um ano. 2017. Disponível em: <<https://www.solenerg.com.br/conheca-a-maior-usina-de-energia-solar-da-america-latina-em-pirapora/>>. Acesso em: 01 out. 2018.

TODAMATERIA. **Energia Renovável.** 2017. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/energia-renovavel/>>. Acesso em: 27 out. 2017.

TOLMASQUIM, M. T. Fontes renováveis de energia no Brasil. **Interciência**, Rio de Janeiro, 2003.

TV SOROCABA/SBT. **Hospital gera a própria energia com captação solar.** 2018. Disponível em: <<https://www.youtube.com/watch?v=ax3yONgbvzE>>. Acesso em: 06 out. 2018.

VANTAGENS e desvantagens das células de combustível. 2016. Disponível em: <<http://www.portal-energia.com/celulas-de-combustivel-vantagens-e-desvantagens/>>. Acesso em: 20 jun. 2018.

VILLALVA, M. G. **Energia Solar Fotovoltaica: conceitos e aplicações.** 2a ed. São Paulo: Érica, 2015.

WENDLING, M. **Semicondutores.** 2011. Disponível em: <<http://www.feg.unesp.br/Home/PaginasPessoais/ProfMarceloWendling/1---semicondutores.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2018.

WENDT, H., LINARDI, M., M. ARICÓ, E. **Células a combustível de baixa potência para aplicações estacionárias.** 2001. 7 p. Artigo (Pós-Graduação em Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares IPEN/CNEN-SP, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v25n3/9342.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2018.

WENDT, H., GÖTZ, M., LINARDI, M. **Tecnologia de células a combustível.** São Paulo – SP, 1999. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2655.pdf>>. Acesso em: 15 jul. 2018.